

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation

Production d'activités pédagogiques visant l'évolution des conceptions liées aux concepts de
l'organisation de la matière chez les élèves de 2e cycle de secondaire

par

Christine Nessim

Essai présenté à la Faculté d'éducation

en vue de l'obtention du grade de

Maître en éducation

Maîtrise qualifiante en enseignement au secondaire - Cheminement sciences et technologies

Avril 2021

© Christine Nessim, 2021

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation

Production d'activités pédagogiques visant l'évolution des conceptions liées aux concepts de
l'organisation de la matière chez les élèves de 2e cycle de secondaire

par

Christine Nessim

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Rania El Bilani Directrice de la recherche
Université de Sherbrooke

Hassane Squalli Membre du jury
Université de Sherbrooke

Essai accepté le 21 avril 2021

SOMMAIRE

Les savoirs scientifiques possèdent des obstacles épistémologiques incontournables, car ils sont contre-intuitifs et possèdent des traits abstraits. Ces savoirs ne peuvent pas être approchés par les perceptions et nécessitent que l'esprit fasse abstraction des éléments superflus pour se représenter l'essentiel. Si l'on souhaite que l'apprenant se les approprie et produise un changement conceptuel profitable, on doit identifier et traiter ces conceptions erronées qu'il produit hâtivement par ses sens (Potvin, 2011). Ainsi, il est illusoire de croire qu'on peut apprendre les concepts scientifiques juste en fournissant des explications cohérentes et claires. L'apprenant, qui a ses propres conceptions intuitives, logiques, fonctionnelles et chargées affectivement, ne cédera pas, sans un travail intellectuel de l'enseignant qui l'amène à critiquer ce complexe de conceptions intuitives et le désorganise pour trouver le doute légitime plutôt que la certitude surestimée (Bousadra, 2020; Astolfi, 2014).

Notre démarche cible les concepts liés à l'organisation de la matière dans le programme de secondaire. Notre objectif principal est de planifier des séquences d'activités dans le but de produire graduellement un changement conceptuel profitable pour l'élève en s'appuyant sur des outils didactiques. Ces derniers sont l'élaboration d'une trame conceptuelle ainsi que l'identification des conceptions des élèves par rapport aux concepts de l'organisation de la matière. Ces outils aideront l'enseignant à établir un arrière-plan notionnel et à mieux cibler des activités qui démontrent la fertilité du savoir contrairement à la conception rivale initiale et ainsi gagner en familiarité et en attrait. En effet, suite à l'élaboration de ces activités, les premières observations

sur des applications vécues avec les élèves montrent un progrès intellectuel et un pouvoir pour interpréter, comprendre et prédire des phénomènes courants.

Notre essai a l'approche d'une recherche-développement qui vise de se développer par la réflexion sur l'action. La méthodologie suivie s'inscrit dans le type de *Conception d'activités d'apprentissage* de Paillé (2007). Notre démarche consiste en premier lieu à identifier le concept scientifique et ses composantes comme prescrit dans le document du Programme de Formation de l'École Québécoise (PFEQ), selon le cycle et l'année. Ensuite, nous construisons une trame conceptuelle pour classer les savoirs dans une logique cohérente et nous nous penchons sur l'identification des obstacles possibles chez les élèves en se basant sur les écrits et les expériences pour finalement concevoir des activités d'apprentissage ciblant ces savoirs.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
PREMIER CHAPITRE. LA PROBLÉMATIQUE	3
1. CONTEXTE ÉDUCATIF GÉNÉRAL DU PROBLÈME.....	3
1.1 Spécificités de l'enseignement et l'apprentissage de la discipline de sciences et technologie	5
2. CONTEXTE SPÉCIFIQUE DE RECHERCHE	7
2.1 Remise en contexte dans l'enseignement des concepts scientifiques	9
2.2 Les conceptions des élèves comme condition primordiale à leur l'apprentissage.....	11
2.2.1 Définitions et caractéristiques	11
2.2.2 La prise en compte des conceptions.....	16
2.2.3 La gestion des conceptions par les enseignants	17
3. PROBLÉMATIQUE DE L'APPRENTISSAGE DES CONCEPTS DE L'ORGANISATION DE LA MATIÈRE	19
4. PISTES DE SOLUTIONS	22
5. OBJECTIF GÉNÉRAL DE RECHERCHE.....	26
DEUXIÈME CHAPITRE. CADRE DE RÉFÉRENCE	27
1. CHANGEMENT CONCEPTUEL	27
1.1 Importance de provocation du conflit cognitif.....	30
2. TRAME CONCEPTUELLE COMME PREMIER PARAMÈTRE DANS LA PRODUCTION DES ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES POUR L'ENSEIGNANT	31
2.1 Trame conceptuelle : c'est quoi ? Comment ? Pourquoi ? Et pour qui ?	32
2.1.1 Biais et limites.....	34
3. PRISE EN COMPTE DES CONCEPTIONS ET DES OBSTACLES COMME DEUXIÈME PARAMÈTRE DANS LA PRODUCTION DES ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES	35
3.1 La typologie des erreurs et des obstacles	36
3.2 Analyse des erreurs sur la nature de la matière à l'aide de la grille des erreurs les plus communes	38
3.3 Formulation de l'objectif spécifique de recherche.....	40
TROISIÈME CHAPITRE. LA MÉTHODOLOGIE	42

1.	LA MÉTHODOLOGIE	42
1.1	Les obstacles ou les conceptions des élèves en relation avec les principes d'organisation et de propriétés de la matière.	43
1.2	Questionnaire pour faire l'état conceptuel des élèves à différents cycles.....	46
1.2.1	Résultat du questionnaire	46
1.3	La trame conceptuelle	47
1.3.1	Correspondance entre la liste des concepts selon la progression des apprentissages du MELS et les idées principales de la trame conceptuelle... ..	48
1.3.2	Ajout des idées secondaires aux cinq idées principales	51
1.3.3	La trame conceptuelle en cinq figures	55
	QUATRIÈME CHAPITRE. RÉSULTATS – PROPOSITION DES ACTIVITÉS DIDACTIQUES	62
1.	PREMIÈRE ÉTAPE DE LA PRISE DE CONSCIENCE DES CONCEPTIONS	63
1.1	Prévenir l'élève des difficultés dans les tâches proposées	63
1.2	Les activités de prise de conscience des difficultés	65
2.	SÉQUENCE DE DÉCOUVERTE ET D'ENTRAÎNEMENT	69
3.	AUTOMATISATION	75
3.1	Activités de métacognition.....	75
3.2	Activités d'intégration.....	77
4.	PRÉSENTATION DE CERTAINES APPLICATIONS VÉCUÉS AVEC LES ÉLÈVES	78
	CINQUIÈME CHAPITRE. RETOUR RÉFLEXIF SUR L'ESSAI.....	81
1.	BILAN PROFESSIONNEL	81
2.	CHEMINEMENT ET DÉVELOPPMENT	82
	CONCLUSION	86
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	88
	ANNEXE A. QUESTIONNAIRE DE PRÉTEST	95
	ANNEXE B. TRAME CONCEPTUELLE AVEC LES CINQ IDÉES PRINCIPALES.....	98
	ANNEXE C. EXTRAITS DE LA PRÉSENTATION MAGISTRALE POUR LES SECONDAIRES 2.....	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Liste des obstacles et des conceptions erronées les plus communes.....	37
Tableau 2.	Analyse des réponses des élèves selon la typologie des erreurs	39
Tableau 3.	Les concepts scientifiques, les conceptions inattendues sur l'organisation de la matière et des solutions	44
Tableau 4.	Les conceptions engendrées par l'incompréhension de la nature discontinue de la matière.....	45
Tableau 5.	Correspondance entre la liste des concepts selon le MELS (Gouvernement du Québec, 2011) et cinq idées principales qui vont représenter le noyau des idées de la trame (Halen W et coll. 2015).	49
Tableau 6.	La trame conceptuelle incluant l'essentiel, les cinq principes de bases et les autres principes secondaires de l'organisation de la matière (inspiré et modifié de Halen W et coll., 2015).....	51
Tableau 7	Exemples de discours susceptibles à développer des habitudes favorables à l'apprentissage (inspiré et adapté de Durant, M.-J. et Chouinard, R., 2012).	64
Tableau 8	Activités pédagogique de la prise de conscience des conceptions.....	65
Tableau 9	Activités pédagogique de découverte et d'entraînement	70
Tableau 10	Activités pédagogique pour développer la métacognition.....	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Le caractère fonctionnel des obstacles liés à la nature de la matière (Astolfi et Peterfalvi, 1993)	21
Figure 2.	Première trame sur la première idée principale de la nature de la matière	56
Figure 3.	Deuxième trame sur la deuxième idée principale de la nature de la matière	57
Figure 4.	Troisième trame sur la troisième idée principale de la nature de la matière	58
Figure 5.	Quatrième trame sur la quatrième idée principale de la nature de la matière	59
Figure 6.	Cinquième trame sur la dernière idée principale de la nature de la matière	60
Figure 7.	Première activité avec des solides de différentes tailles.	68
Figure 8.	Photos du livre de Potvin (2011, p. 366) pour illustrer la discontinuité de la matière.	73
Figure 9.	Photos du Manuel de l'élève, Système, Editions CEC, Suppléments de l'enseignant.	74
Figure 10.	Photos du Manuel de l'élève, Système, Editions CEC, Suppléments de l'enseignant.	74

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ST	Sciences et Technologies
C	Compétence
MELS	Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur
PFÉQ	Programme de Formation de l'École québécoise
SAE	Situation d'Apprentissage et d'Évaluation

Je dédie mon essai à mes deux enfants Chloé et Kevin

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier ma directrice de recherche, madame Rania El Bilani, pour ses précieux conseils, sa passion, sa patience ainsi que son professionnalisme. Madame El Bilani n'a pas cessé de m'encourager à m'améliorer professionnellement durant mes stages, mes cours de didactiques ainsi que durant mon essai. Elle a su m'accompagner tout en mettant en avant mes qualités. Je me rappelle encore durant mon premier stage quand elle me demandait de produire de nouvelles activités didactiques plus réfléchies, et me disait de ne pas hésiter de les essayer même si ces dernières ne donnaient pas les résultats attendus tout de suite. J'ai donc appris à me lancer et à avancer dans ma pratique professionnelle en offrant à mes élèves des activités centrées sur leurs difficultés en sciences. Ainsi, j'ai pu dépasser les activités répétitives traditionnelles pour les remplacer par des activités guidant les élèves à faire un apprentissage réel des savoirs scientifiques. Sans elle, je ne pouvais pas voir cette importance et même me passionner de l'aspect didactique dans mon enseignement. Mon cheminement avec elle a beaucoup amélioré ma façon de concevoir et d'appliquer mes activités didactiques avec mes élèves et ainsi leur offrir un enseignement de qualité.

En deuxième lieu, je tiens à remercier la coordinatrice du programme, madame Geneviève Bourassa pour son soutien et ses conseils. En effet, plusieurs fois quand je pensais que les portes se fermaient pour m'inscrire au programme au début et par la suite à plusieurs cours, elle était à l'écoute avec son empathie et sa compréhension pour faire partie de la solution. C'est vraiment apprécié et motivant quand on sait qu'on va toujours être écouté et soutenu.

Finale­ment, mais non le moindre, je remercie mon mari Antoine Charbel pour son soutien ainsi que mes deux enfants Chloé et Kevin, car ils m'ont laissée toujours travailler même en été, et ils n'ont pas cessé de m'encourager et de croire en moi.

INTRODUCTION

Dans la pratique, quand on présente aux élèves des problèmes qui s'inspirent de leur quotidien et qui n'ont pas un aspect scientifique, ce sont, le plus souvent, des conceptions issues du sens commun qui sont mobilisées, même si elles entrent en contradiction avec ce qui a été enseigné. Ainsi, quand les enseignants posent des questions simples, là où on imagine que règnent les évidences, avec une situation décalée des habitudes scolaires, on témoigne souvent la présence de deux systèmes explicatifs, parfois contradictoires, pour expliquer un même phénomène (Astolfi, 2010). Par exemple, les élèves réussissent à définir une substance pure comme étant une substance qui a une unité de base, mais ils identifient hâtivement le lait qui sort directement de la vache comme étant une substance pure, car ils ont classé le lait selon le sens verbal du mot « pur » et non selon sa définition scientifique. En effet, on trouve un système explicatif de nature scolaire que l'élève utilise pour réussir les examens et un autre d'origine plus profond et personnel, qui revient dans des situations pour lesquelles l'élève est pris hors garde, car il a le sentiment qu'il doit mobiliser des explications qu'il s'est construites depuis l'enfance. Ces dernières sont ses conceptions ou conceptions primitives qui sont l'indice les concepts scientifiques ne sont acquis que d'une façon superficielle et transitoire. Cependant, pour l'élève, ses conceptions sont cohérentes, souvent chargées affectivement et peuvent déborder de l'explication rationnelle pour inclure des dimensions symboliques et imaginaires (Bousadra, 2020). Les didacticiens s'accordent que si l'on souhaite que l'apprenant s'approprie les concepts scientifiques théoriques avec des liens abstraits et produire un changement conceptuel profitable, on doit identifier et traiter ses conceptions initiales qu'il produit hâtivement par ses sens.

Notre démarche cible l'apprentissage chez les élèves de secondaire des concepts de l'organisation de la matière. Ces concepts représentent, entre autres, la base de la compréhension des différentes propriétés et transformation de la matière, qui permettront à l'élève de mieux interpréter et d'agir sur son environnement. Vu la qualité abstraite des notions et l'impossibilité de les approcher par les sens, l'élève peut avoir des conceptions inopérantes qui l'empêchent de s'approprier ces concepts et de les utiliser pour exploiter ou expliquer des faits empiriques. Ainsi, l'objectif est de concevoir des parcours didactiques dans le but de déconstruire et de modifier ces conceptions. En outre, un effort de clarification de la matière enseignée sera effectué en forme de trame conceptuelle dans le but d'explicitier l'arrière-plan notionnel du concept qui est souvent compacté mentalement dans l'esprit de l'enseignant. Cette trame se veut un cadre pour réfléchir sérieusement à ce qu'il faut enseigner et peut être utilisée par quiconque qui souhaite enseigner la matière.

Cette recherche vise de se perfectionner ou de se développer par la réflexion sur l'action en préparant des activités pédagogiques liées aux concepts de l'organisation de la matière (Van der Maren, 1996 ; Paillé, 2007). Dans le premier chapitre, la problématique des conceptions erronées avec celle liée aux concepts de l'organisation de la matière sera présentée. Dans le second chapitre, le cadre conceptuel basé sur la théorie du changement conceptuel sera expliqué, ainsi que les deux paramètres choisis pour guider la production des activités pédagogiques. Dans le troisième chapitre, les étapes de la méthodologie de la production des activités pédagogiques seront suivies selon le devis de Paillé (2007). La trame conceptuelle sera élaborée et finalement, les deux derniers chapitres présenteront les activités conçues ainsi qu'un retour réflexif sur l'essai.

PREMIER CHAPITRE. LA PROBLÉMATIQUE

Dans ce chapitre, nous présentons le contexte éducatif général au Québec. Ensuite, on rend compte des spécificités de l'enseignement des sciences et plus particulièrement des conceptions que les élèves apportent en interaction avec le contenu scientifique. Enfin, on effectue une synthèse des résultats de recherche pour finalement formuler l'objectif général.

1. CONTEXTE ÉDUCATIF GÉNÉRAL DU PROBLÈME

Au Québec, dans les deux dernières décennies, les programmes scolaires ont subi plusieurs transformations pour répondre aux nouvelles attentes et réalités socioculturelles de la société (Martinet et coll., 2001). En effet, les cohortes des élèves sont hétérogènes avec des cultures premières diversifiées au niveau des acquis, de motivation et de mode de fonctionnement. De plus, les problèmes sociaux sont plus nombreux et la mondialisation exige de se placer avec des diplômés de haut niveau (Martinet et coll., 2001). Ainsi, le rôle de l'école ne pouvait plus se résumer à assurer l'apprentissage et l'intégration des savoirs, mais à former des élèves cultivés et instruits qui réussissent leur vie, qui contribuent à l'essor de la société et qui agissent en citoyen engagé et travailleurs compétents. Les programmes ont ainsi adopté l'approche par compétences dans un cadre qui répond aux besoins et aux intérêts de chacun avec des pédagogies différenciées (Martinet et coll., 2001). Ces changements s'appuient surtout sur 1) une logique de compétence, 2) une perspective socioconstructiviste, 3) une centration sur les apprenants et 4) une grande importance accordée aux situations d'apprentissages (SA) (Charland et col, 2010).

Plus particulièrement, les programmes de sciences et technologies (ST) au secondaire ont connu de profondes configurations qui s'appuient sur de nouvelles orientations. Parmi celles-ci, l'intégration des sciences et technologies en une seule discipline, la prise en considération des problématiques sociales comme l'environnement et la santé ainsi que l'adoption d'une perspective épistémologique de type constructiviste (Gouvernement du Québec, 2007). Plus spécifiquement au premier cycle, les connaissances portent sur des phénomènes de l'environnement naturel et construit qui rejoignent souvent les préoccupations des élèves (Gouvernement du Québec, 2011). Quant au deuxième cycle, il débute dès la troisième année du secondaire et il représente une période déterminante dans le choix de l'avenir des élèves ainsi, les savoirs sont plus approfondis pour permettre aux élèves de faire le choix qui répond le mieux à leur niveau de développement, à leur champ d'intérêt et à leur projet d'orientation (Gouvernement du Québec, 2007). Plus spécifiquement, les connaissances sont organisées autour d'applications liées à sept champs technologiques : les technologies médicales ; les technologies agricoles et agroalimentaires ; les technologies de l'énergie ; les technologies de l'information et de la communication ; les technologies des transports ; les technologies de production manufacturière ; et les technologies de la construction (Gouvernement du Québec, 2011).

Sur le plan pédagogique, les enseignants sont encouragés à recourir à des situations d'enseignement-apprentissage ouvertes, contextualisées et intégratives qui s'inspirent souvent des domaines généraux de formation et qui mettent en œuvre des compétences disciplinaires et transversales (Gouvernement du Québec, 2010). L'objectif est de permettre à l'élève de devenir responsable à l'égard de sa santé, de l'environnement et de développer un esprit critique et créatif caractérisant l'esprit scientifique pour mieux appréhender le monde et la société dans lesquels il

évolue (Morin, 2016). En effet, l'élève pour s'adapter aux changements doit être capable de prendre du recul par rapport aux acquis, de comprendre la portée et les limites du savoir et d'en saisir les retombées (Gouvernement du Québec, 2010). Le document du Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur (MELS) demande aux enseignants, pour actualiser ces visées et guider les élèves à construire une vision du monde, de les mettre au cœur même de leur apprentissage en s'appuyant sur leurs perceptions de la réalité pour les confronter à l'interprétation des experts (Gouvernement du Québec, 2007).

1.1 Spécificités de l'enseignement et l'apprentissage de la discipline de sciences et technologie

Avec ces configurations et les nouvelles orientations du programme, la question qui se pose est de savoir si ces changements ont suscité plus d'intérêt chez les élèves envers la discipline et si plus d'étudiants choisissent les cours de sciences.

Plusieurs recherches au Québec et en Europe tirent le constat que l'enseignement des ST fait face à plusieurs critiques au point de le qualifier d'enseignement « en état de dysfonctionnement » ou « en déclin » (Pronovost et coll., 2017). Dans l'enquête au Québec de Hasni et Potvin (2015), la plupart des élèves montraient un désintérêt préoccupant envers les ST; d'autres reportaient que les élèves les percevaient comme une matière difficile et plutôt plate (Develay, 2000). Pronovost et coll. (2017), déplorent le fait que l'intérêt des élèves à l'égard des ST baisse à mesure qu'ils avancent dans leurs études et que jusqu'à la moitié des étudiants inscrits en sciences changent de programme pour d'autres champs d'études avant la fin de leur scolarité. Ainsi, on témoigne un manque de motivation et un clivage entre l'élève et les savoirs scientifiques

et leurs significations (Astolfi, 2014 ; Potvin, 2011). En outre, les écrits concluent qu'une grande partie du savoir scientifique enseigné à l'école est oublié au bout de quelques années voire de quelques semaines bien que les séances étaient cohérentes et que les élèves semblaient apprendre et réussir (Giordan et de Vecchi, 1989 cités par Cina 2011).

Plusieurs recherches ont tenté d'interpréter les causes, résumées ci-dessous, de ce désintérêt : programme chargé (Giordan et de Vecchi, 1989 cités par Cina (2011), présence d'un grand nombre d'élèves, multiples connaissances à travers divers domaines (Morin, 2016), le système éducatif et plus particulièrement la façon dont les sciences sont enseignées (Provonost et coll., 2017). En effet, on attribue souvent ce désintérêt à un modèle d'enseignement qui dogmatise la science et l'enseigne comme des trésors cachés qu'il suffit de dévoiler et par conséquent, les élèves la perçoivent comme étant trop difficile et plutôt destinée aux élèves doués ou forts (Goodrun et Rennie, 2007). En outre, ils développent une vision déformée de la complexité de la science et du rôle des scientifiques dans la société ou de la pertinence dans les activités de la vie quotidienne et les valeurs par rapport à leur propre identité (Davis et Steiger 1996 et Goodrun et Rennie, 2007). Plus spécifiquement, les recherches pointent surtout les modèles d'enseignement qui ne prennent pas en compte les conceptions des élèves et ne se basent pas sur celles-ci pour les amener à prendre conscience de leur invalidité et de la nécessité de les remplacer. D'autres recherches, relativement récentes, tentent d'orienter les contenus des programmes pour qu'ils soient mieux perceptibles par les élèves et leur permettre de voir la pertinence dans les activités de la vie quotidienne et de comprendre le monde naturel qui les entoure (Harlen et coll., 2015).

Ainsi, les recherches se concentrent d'une part sur les contenus et la nécessité de les traduire d'une manière qualitative qui explicite leur aspect utilitaire perceptible par l'élève et d'autre part, sur les connaissances que les élèves apportent en interaction avec ce contenu et l'exigence de les prendre en compte et de s'en servir comme un outil pour enseigner (Potvin, 2011). Ces pistes respectent le paradigme constructiviste qui prend en compte les règles d'assimilation et d'accommodation des nouvelles connaissances par rapport à une structure existante (Potvin, 2011). Il m'a donc semblé intéressant d'approfondir les connaissances sur la manière de traduire les contenus ainsi que sur les façons de faire pour identifier et utiliser les conceptions des élèves en interaction avec ces contenus dans le but de les déconstruire et de les remplacer pour faciliter l'apprentissage des concepts scientifiques.

2. CONTEXTE SPÉCIFIQUE DE RECHERCHE

Durant mon enseignement aux groupes de troisième année de secondaire sur les concepts liés à l'organisation de la matière, je me suis rendu compte de la résistance de leurs idées initiales erronées, malgré leur réussite au premier cycle. Par exemple, quand on leur demandait de classer plusieurs substances qu'ils utilisaient dans leur quotidien, on obtenait des réponses qui sont résumées ci-dessus et qui seront analysées plus en profondeur dans le chapitre du cadre conceptuel (section 3.2) :

1. Quelques-uns répondaient que le lait qui venait de sortir directement de la vache était une substance pure. Ainsi, ils ont classé le lait selon le sens verbal du mot « pur » et non selon sa définition scientifique.

2. L'aspirine avec sa formule chimique ou l'éthanol ne pouvaient pas être des substances pures, car ils sont fabriqués en laboratoires. Aussi, les composés formés de plusieurs éléments étaient automatiquement classés dans les mélanges. Ici, les élèves catégorisaient hâtivement avec leurs perceptions les substances produites en usine en mélanges.
3. Le dioxyde de carbone est un mélange, mais l'oxygène ou l'azote sont des substances pures. Plusieurs élèves dévalorisaient le dioxyde de carbone et refusaient de lui attribuer le mot « pur ».

Ainsi, les élèves avaient deux systèmes explicatifs pour expliquer un même phénomène. Le premier était mobilisé dans une situation de nature scolaire et leur a permis de répondre à la question de la définition. Le deuxième qui n'avait pas un aspect scientifique et qui s'inspirait de leur quotidien a déclenché naturellement leur sens commun ou leurs perceptions. Donc, malgré les explications durant le deuxième et le premier cycle ainsi que leur réussite, les élèves ont gardé leurs idées erronées et n'ont pas acquis les concepts scientifiques qui expliquent les règles selon lesquelles les atomes ou les molécules se combinent pour former une unité de base. Le dépassement de ces connaissances est ainsi hors de portée d'une action d'enseignement au sens classique, il réclame des actions didactiques d'une autre nature (Brousseau, 1986). Ce fut donc mon point de départ pour chercher des pistes afin de déconstruire ces idées erronées et de guider les élèves pour les remplacer ou construire un concept scientifique plus pertinent. Mon travail est axé plus particulièrement sur les concepts liés à l'organisation de la matière. Ce sujet peut offrir aux élèves la possibilité de découvrir et d'interpréter mieux le monde qui les entoure et de développer de l'intérêt pour les domaines de chimie et de génie chimique.

2.1 Remise en contexte dans l'enseignement des concepts scientifiques

Tous les concepts scientifiques sont abstraits et nécessitent que l'esprit fasse abstraction des éléments superflus pour ne se représenter que l'essentiel. En effet, du point de vue didactique, les types de concepts scientifiques sont soit catégoriels, soit théoriques (Demoumen et Astolfi, 1996). Les premiers existent en sciences et en d'autres champs. Ils correspondent à une mise en ordre du réel et s'appuient sur les attributs et ainsi sont limités à la sphère logique sans histoire (Demoumen et Astolfi, 1996). Un exemple de ces concepts est la classification des animaux en biologie. Quant aux concepts théoriques, ils sont exclusifs à la discipline de la science et sont formels, présumés et définissent une problématique construite historiquement (Demoumen et Astolfi, 1996). En effet, ces concepts postulés sont des outils intellectuels ou un ensemble d'idées liées d'une certaine manière avec des invariants (lois) qui nous permettent d'anticiper ou de prédire une variable en connaissant les autres (par exemple la loi d'Ohm). Ainsi, c'est un instrument de théorie pour la compréhension d'un phénomène et a donc une fonction opératoire dans le sens qu'il nous permette d'interpréter des données empiriques, des observations ou des expériences (par exemple : prédire, établir les causes à effet ou identifier les facteurs impliqués). Ces concepts sont aussi un nœud dans un réseau de relation cohérent et organisé et non un élément disposé à côté d'autre par une simple juxtaposition. Ils fonctionnent toujours en relation avec d'autres concepts théoriques et techniques et peuvent être formulés sur différents registres au cours de la scolarité en fonction de la diversité des problèmes abordés (Demoumen et Astolfi, 1996). Les exemples sont nombreux comme la notion du mouvement par exemple qui est contre-intuitive et ne peut être acquise ou approchée par les perceptions sans une remise en question du langage commun où il faut clarifier qu'un corps a une force en lui-même ce qui constitue donc une propriété intrinsèque

à ce dernier. D'autres concepts, comme la nature discontinue de la matière et la présence du vide entre les atomes doit être clarifiée pour contrer cette lecture sensorielle de la matière lisse et continue (Potvin, 2011).

Ainsi, pour que les concepts scientifiques formels ne restent pas sur un mode réducteur de sens physique, mais fassent sens pour l'élève, il est primordial de préparer des situations d'apprentissage qui dépassent l'isolement des savoirs pour soutenir les élèves à accéder à une réflexion à dimension épistémologique et à obtenir un avantage concret pour mieux comprendre et expliquer le monde (Develay, 2000 ; Potvin, 2011). En effet, ces concepts théoriques ne doivent pas être enseignés comme des trésors cachés et prêts à être dévoilés, mais plutôt comme des savoirs qui ont une fonction opératoire sur les données empiriques (Potvin, 2011).

Cependant, dans le Programme de Formation de l'École québécoise (PFÉQ), les savoirs scientifiques théoriques sont souvent dépersonnalisés et ne sont pas éclairés par les situations qui les font naître (Develay, 2000). Néanmoins, ces transformations sont souvent nécessaires et légitimes, car on doit concilier d'une part la nature des savoirs savants, le processus d'apprentissage des élèves et d'autre part la fonction sociale de l'école qui doit permettre la programmation sur plusieurs années, l'évaluation et la diplomation (Develay, 2000 ; Astolfi et Develay, 2002). Par conséquent, **la tâche revient à l'enseignant** de réinscrire dans l'histoire les questionnements fondamentaux des hommes et de faire apparaître les cohérences et l'utilité de ces questionnements. C'est à l'enseignant de proposer des parcours qui guident les élèves à trouver un sens et une utilité aux apprentissages (Develay, 2000 ; Potvin, 2011). Sans quoi les concepts scientifiques seront inaccessibles pour les élèves et se présenteront comme « un nuage dans un ciel

d'azur qui flotterait sans jamais apparaître aux élèves comme la réponse à des questions que les hommes se sont demandées ». (Develay, 2000, p.30)

2.2 Les conceptions des élèves comme condition primordiale à leur l'apprentissage

Bachelard (1938) disait qu'on « connaît toujours par et contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites » (p.4). Ainsi, apprendre c'est changer ce système de conceptions ancrées dans l'esprit.

Selon les recherches en didactique il n'y a pas d'acquisition de concepts théoriques sans se baser sur ces conceptions connues, selon les chercheurs, comme : les représentations spontanées indésirables, les fausses conceptions, les modèles implicites primitifs, les conceptions spontanées naïves, les représentations ou les connaissances empiriques déjà constituées. Toutes ces appellations réfèrent aux conceptions initiales et dans cet essai, le terme conception initiale sera utilisé.

2.2.1 Définitions et caractéristiques

Selon Giordan et de Vecchi (2002), les conceptions des apprenants sont des idées ou plutôt des structures mentales logiques et cohérentes mises en œuvre face à des situations problèmes particuliers. Les mêmes auteurs précisent aussi qu'elles représentent un modèle explicatif sous-jacent ancré et empreint du milieu socioculturel (habitudes de la famille, relations avec autrui) et historique (ses expériences et ses souvenirs). Ce modèle explicatif sous-jacent rappelle le modèle de Pellaud et Eastes (2003) (cité par Cina, 2011) où ils ont établi un parallèle entre les conceptions et la forme d'un iceberg. En effet, ils révèlent que les croyances, les attitudes et les gestes qui

émergent dans les réponses des apprenants ne représentent que la pointe de l'iceberg ou une infime partie et cachent un important réseau de pensée vieux et complexe, qui influence et organise les connaissances de l'individu. Ainsi, l'individu en vue d'une explication, d'une prévision ou encore d'une action simulée ou réelle mobilise ses acquis et ses stratégies pour sélectionner les informations pertinentes, structurer et organiser le réel (Giordan et de Vecchi, 1989).

Dans cet essai on retient la définition de Brousseau (1986) qui est, à notre avis, plus complète comme elle tient compte de la complexité de ces conceptions ainsi que la raison de leur résistance.

« Une conception est un ensemble de connaissances, de langage, de manière de voir une représentation – erronée – mais qui a été engagée avec quelque succès dans une famille d'actions, ou comme moyen d'expression, ou dans des jugements (elle a permis une certaine réussite au sujet) (Brousseau, 1986, p.282) ».

Ainsi, les conceptions initiales sont un ensemble de connaissances avec un domaine de validité limité qui ont montré leur utilité dans certaines situations et donc l'apprenant les a adoptées et les utilise naturellement. Comme ces conceptions initiales étaient fonctionnelles pour l'apprenant, il serait plus difficile de les modifier ou de les rejeter sans les affronter avec un fait ou une série de faits en contradiction avec les prévisions de ces conceptions et ainsi créer un conflit cognitif. Ce dernier implique de choisir l'une ou l'autre ce qui pourrait amener à un rejet d'une des conceptions en conflits ou à une modification pour rendre les deux conceptions compatibles. Si des faits nombreux contredisent les conceptions initiales et qu'il apparaît à l'apprenant la nécessité de les abandonner, on parle d'une rupture épistémologique qui mène à un véritable changement

des connaissances initiales. Ainsi « un conflit cognitif peut ne pas aboutir à une rupture, mais une rupture est précédée le plus souvent de nombreux conflits (Brousseau, 1986) ».

Parfois, malgré les nombreux conflits cognitifs on ne parvient pas à éliminer la connaissance initiale il s'agit d'un obstacle comme expliqué par Brousseau (1986) :

« Si par surcroît la résistance est forte, en ce sens que les conflits cognitifs se prolongent sans que l'on parvienne à éliminer la connaissance fausse, ou si, bien qu'apparemment rejetée par le sujet, elle réapparaît de façon fortuite et en quelque sorte échappe à son contrôle, nous dirons que cette conception fait obstacle (Brousseau, 1986, p.282) ».

Donc, l'obstacle est plus ancien, persistant, logique, chargé affectivement et bien adopté par l'apprenant et cela demande une pluralité de traitement pour produire un changement conceptuel.

Ces conceptions initiales ou parfois ces obstacles ont des caractéristiques qui importent de connaître pour pouvoir mieux agir et intervenir sur elles. Ces caractéristiques sont groupées en plusieurs points qu'on résume dans ce qui suit (Morin, 2016 et Astolfi, 2010):

1. Ces conceptions initiales sont présentes, quels que soient l'âge et l'expertise de l'apprenant.

Ainsi, même des experts peuvent garder leurs conceptions et avoir des représentations contradictoires qui cohabitent. Par exemple, dans une recherche menée par Astolfi (2014), on a demandé à des étudiants de niveau universitaire spécialisé en physique de déterminer les

forces qui s'exercent sur une balle qui vient d'être lancée et malgré leurs connaissances académiques, les élèves ont mobilisé la vieille théorie de l'impulsion qui prétend que la balle emmagasine une force qui lui est conférée par le lanceur et quand elle s'épuise elle descend par la pesanteur (Astolfi, 2014). Donc, le modèle de Newton bien connu par ces élèves n'a pas été mobilisé témoignant la présence de deux représentations contradictoires qui cohabitent chez les apprenants.

2. Elles ne concernent pas seulement la sphère cognitive, mais bien l'univers mental dans son ensemble.
3. Elles sont personnelles puisqu'elles dépendent de chaque individu : mais « ne sont pas uniques », car beaucoup d'apprenants possèdent des modèles explicatifs similaires ; ce point est important, car cela devient possible aux enseignants de les prédire et de préparer un parcours qui agissent sur elles.
4. Elles peuvent expliquer les incohérences d'un point de vue scientifique dans la pensée des élèves, mais pour ces derniers elles font sens et elles sont logiques.
5. Elles ne sont ni le produit du hasard, ni un manque de connaissance, ni une lacune, mais c'est un système de connaissances cohérent souvent chargé affectivement qui déborde de l'explication rationnelle pour inclure des dimensions symbolique et imaginaire (Bousadra, 2020). Ce point est crucial, car il rappelle que les apprenants tiennent à leurs conceptions, ainsi les séquences d'apprentissage doivent avant d'agir contre ces conceptions, faire avec ou rassurer l'élève, sinon l'apprenant peut sentir une frustration qui bloquera tout apprentissage.

- a. Potvin (2011) nous explique bien dans son livre cette frustration psychologiquement insoutenable que l'élève peut ressentir quand on déclenche un conflit cognitif sans prévoir assez de situations pour que l'élève trouve toutes les réponses pour remplacer ces conceptions. Ainsi, si on n'accompagne pas assez l'élève, le résultat est « un échec, un recul et un refuge (Potvin, 2011 p. 174) » dans d'anciennes présentations maquillées, dans les meilleurs des cas, avec des connaissances scientifiques qui restent inaccessibles et inutiles.
- 6. Elles ne sont pas figées (heureusement) puisqu'elles peuvent évoluer au fur et à mesure que le savoir se construit (A. Giordan et G. De Vecchi, 2002 cités dans Morin, 2016).

Comme ces conceptions initiales sont chargées affectivement, différentes réactions se manifestaient quand on y confrontait l'apprenant. En effet, souvent les experts deviennent frustrés ou vexés une fois confrontés avec leurs conceptions surtout qu'ils sont habitués à s'en sortir de situations beaucoup plus complexes (Astolfi, 2014). D'autres apprenants peuvent refuser toute contradiction avec leurs conceptions et ainsi leur obstacle persiste, quelques-uns trouveront d'autres représentations erronées pour satisfaire rapidement leur questionnement et finalement certains, plus dociles, n'oseront pas se prononcer ou prendre le risque de faire des erreurs et leur obstacle va rester latent (Astolfi, 2010). Ces derniers, qui sont souvent appréciés par les enseignants, sont les plus à risque de ne pas pouvoir s'approprier les concepts théoriques. En effet, le vrai apprentissage nécessite de prendre le risque et de faire des erreurs sans connaître encore les limites de validité de la règle ou de la loi (Astolfi, 2014). Sinon, on reste là où on sait, mais enfermé dans nos obstacles. En fait, les enseignants expérimentés connaissent bien ce lien affectif et savent que l'élève aura tendance à « nier » ses idées qui contredisent l'observation et par conséquent ils

les recueillent par écrit (Peterfalvi, 1997). Comme Potvin (2011) expliquait, l'élève va tenter de faire disparaître la question rapidement pour ne pas vivre ce conflit cognitif où sa représentation du monde est incompatible avec les événements.

2.2.2 La prise en compte des conceptions

Les recherches en didactique des sciences montrent que les professeurs de sciences, plus encore que les autres, ne comprennent pas que les élèves ne comprennent pas (Astolfi, 2014). Ils s'imaginent que l'esprit commence comme une leçon et qu'on peut faire comprendre un concept en le répétant point par point (Astolfi, 2014). Cependant, certains sujets de connaissances produisent des erreurs incontournables qu'il faut rechercher chez l'apprenant et s'en servir pour les dépasser (Mondher, s.d.). Dans son livre, Potvin (2011), urge d'effectuer une transition radicale d'un système d'enseignement « allergique aux erreurs », vers un modèle qui prend l'erreur comme un outil intellectuel de diagnostic pour faciliter l'apprentissage et l'acquisition des concepts scientifiques. Plusieurs auteurs sont en accord que l'enseignant doit adjoindre à la compréhension d'objets d'enseignement une réflexion didactique qui porte sur les erreurs prévisibles ou observées que les élèves sont susceptibles de commettre (Potvin, 2011 ; Astolfi, 2010 ; Astolfi, 2014 ; Brousseau, 1986). En effet, on demande aux enseignants de mettre les conceptions initiales au cœur même de l'apprentissage (Potvin, 2011). Si ces erreurs sont évitées ou contournées ou que l'enseignant les évacue systématiquement, le prix serait une cohabitation de deux représentations parfois contradictoires, et ce, quel que soit l'âge de l'apprenant (Astolfi, 2014). Ainsi, on condamne l'élève à être enfermé dans ses obstacles et ses représentations qui persisteront malgré les sanctions (Potvin, 2011) et on finira par avoir un profil d'élève désintéressé avec une « expertise

de routine » : un élève qui réalise rapidement les tâches scolaires sans erreur, mais sans comprendre (Conte, 2010).

En effet, l'élève ne peut pas acquérir le concept sans un travail intellectuel de l'enseignant qui l'amène à critiquer ce complexe de conceptions initiales et le désorganise pour trouver le doute légitime plutôt que la certitude surestimée (Bousadra, 2020 ; Astolfi, 2014).

2.2.3 *La gestion des conceptions par les enseignants*

Dans la pratique, les conceptions initiales des élèves sont gérées par l'enseignant selon cinq modes possibles (Brousseau, 1986 ; Potvin, 2011 ; Astolfi, 2014). Le premier est un mode qui ne se rend pas compte de leur existence et qui concerne souvent les novices, le deuxième est un mode d'enseignement qui ignore leur existence sans les méconnaître, le troisième mode concerne les enseignants qui les contournent systématiquement en posant le problème autrement. Pour le quatrième mode de gestion, les enseignants font sortir les conceptions en faisant parler les élèves, mais la tâche d'apprentissage réelle ignore ces conceptions. Finalement, on a le modèle de « faire avec pour aller contre » qui est rarement mis en pratique où on construit les tâches d'apprentissage en fonction des erreurs déjà connues et identifiées chez les élèves (Brousseau 1986 ; Bousadra, 2020 ; Giordan et de Vecchi, 2002).

Ainsi, étrangement pour la plupart des enseignants, lorsqu'il est temps d'enseigner, on « oublie cette torture intellectuelle » que nous avons vécue au moment de l'appropriation du même concept et on reproduit inconsciemment le même découpage qui nous a été proposé (Bousadra, 2020). Comme Astolfi (2014) l'explique bien : l'erreur nous paraît dérisoire une fois que l'obstacle

est franchi et c'est plus facile de condamner les erreurs des élèves, car « on ne veut pas être tiré vers les marécages quand nous aspirons à l'air des cimes » Astolfi (2014a, p.12). De plus, on peut croire qu'il suffirait d'avoir des explications claires et d'enrober les notions dans des exemples de la vie quotidienne pour que l'élève s'approprie le savoir et l'utilise pour exploiter et expliquer des faits empiriques (Bousadra, 2020). Les enseignants qui ont recours à un tel modèle ne font que contourner les erreurs des élèves et s'empêchent ainsi de pouvoir accéder aux opérations intellectuelles dont elles sont la trace alors que ce sont bien ces conceptions spontanées qui résistent au simple apprentissage d'une connaissance plus correcte (Astolfi, 2004). Il est donc vain de penser qu'on peut détruire une conception initiale en fournissant la bonne réponse. Un tel modèle ne fera que placer de nouvelles informations sur un fond inchangé de connaissances communes et le prix fort serait l'économie de la conceptualisation du concept scientifique et l'incapacité de l'élève de le mettre en œuvre (Potvin, 2011 ; Astolfi, 2010).

L'enseignant a donc le choix de proposer des activités répétitives à l'abri des imprévus (mais aussi à l'abri du progrès) ou proposer des activités qui permettent le transfert des apprentissages avec des tâches complexes (Astolfi, 2014). Ainsi, comme Tardif (1995, p.196) le décrivait, l'enseignement devient : « cet équilibre délicat entre les objectifs du contenu, les stratégies nécessaires pour l'acquérir et le transférer dans des situations variées et les connaissances que l'élève apporte en interaction avec ce contenu ».

3. PROBLÉMATIQUE DE L'APPRENTISSAGE DES CONCEPTS DE L'ORGANISATION DE LA MATIÈRE

Selon le document du Programme de Formation de l'École québécoise (PFEQ), le concept de l'organisation de la matière fait partie de l'univers matériel. Dans le programme de 3^e secondaire, les notions à enseigner sont résumées comme suit : revoir le modèle particulaire avec les définitions des atomes, éléments et tableau périodique, apprendre les propriétés caractéristiques qui permettent d'identifier les substances, définir une substance pure comme étant une substance formée d'une seule sorte d'atomes ou de molécules ; distinguer un élément (ex. : fer, dioxygène, sodium) d'un composé (ex. : eau, gaz carbonique, glucose) ; décrire des mélanges homogènes et des mélanges hétérogènes.

Dans ces concepts, la question essentielle à laquelle il faut répondre est comment la matière qu'on voit pleine et continue est en réalité discontinue avec des espaces entre ces molécules ou atomes et même du vide à l'intérieur de ces atomes. En deuxième lieu, comment cette matière est-elle organisée ou comment les atomes interagissent-ils pour former une substance pure ou un mélange avec différentes propriétés ? Le problème scientifique à étudier est de comprendre la nature de la matière ensuite de voir ce qui se combine pour former une molécule, mais aussi ce qui ne se combine pas. Sans une appropriation de ces éléments, il serait difficile de comprendre plusieurs phénomènes comme la dissolution ainsi que les différentes propriétés de la matière comme les masses volumiques ou les transformations physiques et chimiques.

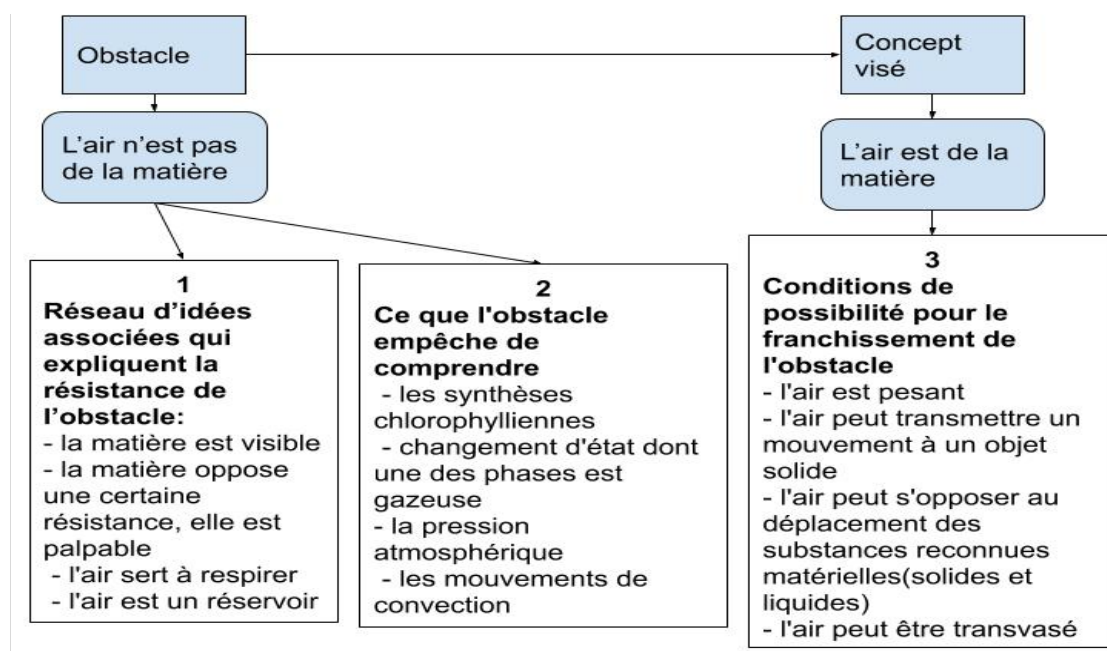
Pour les élèves, la nature de la matière ainsi que les combinaisons ou organisations entre les atomes ou les molécules sont contre-intuitives. L'élève a une difficulté de se représenter la

matière comme des atomes ou des particules minuscules. Il ne perçoit pas la matière en discontinue avec des atomes ayant un vide à l'intérieur et autour (Potvin, 2011). En fait, si l'élève a une représentation erronée de la nature constitutive de la matière, il ne pourra pas prédire ou expliquer leur combinaison.

Plusieurs conceptions initiales liées à la structure de la matière sont groupées dans le livre de Potvin (2011) ainsi que dans les recherches de Plé (1997) et Willame, B. et Snauwaert, P. (2018), on rapporte les suivantes :

- 1) Les élèves pensent que les choses ne sont pas faites d'atomes ou de particules – les atomes ne sont pas constitutifs de la matière.
- 2) Les élèves pensent que les choses sont recouvertes de ces particules ou qu'elles sont saupoudrées d'atomes qui sont déposés par-dessus ou qui flottent par-dessus les choses.
- 3) Les atomes sont comme des poussières éparpillées sur la surface des objets.
- 4) Ces objets sur la surface ont une continuité et sont indépendants des objets qui nous entourent.
- 5) La molécule d'eau H_2O flotte à la surface de l'eau, car elle est plus légère que celle-ci.
- 6) On n'imagine pas l'atome avec du vide à l'intérieur ou autour.
- 7) Le vide dans l'atome est rempli d'air et si on met l'objet dans l'eau, le vide se remplit d'eau.
- 8) L'eau s'évapore en air et les bulles de l'eau qui bouille sont formées d'air.
- 9) L'air n'est pas une matière.
- 10) Le sel ou le sucre disparaissent dans l'eau.
- 11) L'ajout du soluté dans un solvant n'influence pas le volume de la solution.

Il est important de prendre le temps d'analyser les erreurs et leurs origines, car les réponses erronées des élèves cachent souvent un réseau complexe, stable et résistant influencé par le milieu dans lequel il est construit et par l'individu et son évolution au plan psychogénétique (Vecchi et Giordan, 2002, cités dans Cina, 2011). Par exemple, Plé (1997) explique que l'obstacle que l'air n'est pas une matière renferme plusieurs réseaux d'idées. La Figure 1 dans (Astolfi et Peterfalvi, 1993) résume le caractère fonctionnel de l'obstacle.



Note. Figure adaptée d'Astolfi et Peterfalvi (1993)

Figure 1. Le caractère fonctionnel des obstacles liés à la nature de la matière (Astolfi et Peterfalvi, 1993)

Ainsi les auteurs spécifient que les conditions pour le franchissement de l'obstacle sont des activités conçues pour faire réaliser que : l'air est pesant - l'air peut transmettre un mouvement à

un objet solide - l'air peut s'opposer au déplacement des substances reconnues matérielles (solides et liquides) - l'air peut être transvasé.

En identifiant les conceptions erronées et leurs types, l'enseignant peut mieux intervenir et concevoir des activités appropriées. Les erreurs communes sur l'organisation de la matière seront examinées dans le chapitre du cadre conceptuel (section **3.2**).

4. PISTES DE SOLUTIONS

Plusieurs recherches en didactique ont été consacrées pour trouver des stratégies pour aider l'élève à franchir les obstacles associés au concept prescrit. Plusieurs travaux en biologie ont été menés par l'équipe du chercheur Astolfi sur différents concepts, dont la respiration, la nutrition des plantes vertes et la digestion (Demoumen et Astolfi, 1996 ; Sauvageot-Skibine, 1997). Les séquences étaient conçues autour du franchissement d'obstacles préalablement identifiés avec des questionnaires ou des schémas à commenter. Par exemple, Sauvageot-Skibine (1997) planifie des séquences d'apprentissage sur la nutrition des plantes avec un tableau qui met en relation le concept en jeu selon le programme, les obstacles identifiés en interaction avec ce contenu, l'activité pédagogique qui vise le franchissement de l'obstacle et l'activité intellectuelle de l'élève qui explicite la transformation intellectuelle à réaliser. La chercheuse procède au début avec des activités qui rassurent l'élève sur ses conceptions chargées affectivement pour ensuite le confronter avec la réalité scientifique qui est en contradiction avec ses conceptions. Les réponses obtenues après les séquences n'étaient pas pour plusieurs justes, mais montraient toutes du progrès. Ainsi, la chercheuse prévient qu'il ne faut pas s'attendre à une seule production et un seul produit final,

mais prendre le temps de découvrir le progrès en cours d'obtention ou simplement décalé d'une norme que l'élève n'a pas encore intégré (Sauvageot-Skibine, 1997 ; Astolfi, 2014).

Delisle (2015) dans son essai à l'Université de Sherbrooke a aussi eu recours au conflit cognitif dans la planification de ces activités liées au principe d'Archimède. Il a remarqué une faible hausse de 15% dans les résultats des élèves qui ont appris avec une provocation de connaissances erronées par rapport à ceux qui ont appris avec une méthode traditionnelle. Il attribue ce faible résultat à l'ambiguïté des questions ainsi que l'ambiance et la rigueur de l'enseignement. Cependant, les réponses, même s'ils ne correspondaient pas à la réponse finale, témoignaient du progrès. Comme Mondhler (s.d.) expliquait, l'approche par le franchissement d'obstacle, n'insiste pas à l'état final à obtenir, mais plutôt sur « ... les progrès de pensée et les transformations intellectuelles qu'élabore l'élève dans sa démarche d'acquisition de connaissances... ».

En chimie, le livre de Potvin (2011) regroupe plusieurs séquences qui visent le franchissement d'obstacles en procédant par leurs identifications, ensuite la conception d'activités qui tantôt rassurent l'élève sur ses idées et tantôt les confronte pour le mettre à l'évidence de leurs contradictions avec les observations et ainsi de la nécessité de les remplacer. Pour la discontinuité de la matière, il présente une expérience dans laquelle les élèves doivent trouver la raison pour laquelle le volume de 50 ml d'alcool éthylique mélangé avec 50 ml d'eau ne fait pas exactement 100 ml. La séquence tient compte de rassurer les élèves au début par des mesures de masses qui s'additionnent ensuite ils sont placés en situation de conflit cognitif avec la mesure du volume qui ne peut s'additionner et ainsi ne peut être interprété que par la discontinuité de la matière. Cette

situation d'apprentissage présentée s'inspirait du modèle de Nussbaum et Novick (1982) et Potvin (2011) critiquait qu'une fois l'élève mis en conflit cognitif on le laisse en quelque sorte tomber, car le reste du travail est laissé à l'enseignant qui répond et explique d'une façon classique le principe de la discontinuité de la matière. Selon (Potvin), le conflit cognitif serait insuffisant s'il n'est pas suivi de plusieurs autres situations qui montrent, l'intelligibilité, l'utilité et la plausibilité du concept qu'on souhaite (re)construire.

Plé (1997) traite l'obstacle que l'air n'est pas une matière et précise que l'ordre de la construction des nouvelles connaissances et leur vitesse d'élaboration doivent être bien dosés. En effet, elle explique qu'une attaque qui vise d'anéantir les obstacles, peut créer la peur du vide et donc une fuite ou un effet de surprise trop important peut engendrer une adhésion immédiate sans travail véritable sur l'obstacle. C'est ainsi qu'elle conseille que le fait que l'air est pesant doive être le dernier attribut à construire. Elle suggère des séquences qui montrent que l'air peut transmettre un mouvement à un objet solide avec un tube transparent bouché des deux côtés par des morceaux de patates qui peuvent créer une sorte de canon. Ensuite, d'autres séquences qui montrent comment l'air peut s'opposer au déplacement des substances reconnues matérielles comme l'eau (verre qui ne se remplit pas quand immergé vers le bas verticalement). Finalement et seulement après avoir créé suffisamment de situations qui confrontent l'élève à la nature de l'air, elle lui demande si l'air est pesant. Elle ajoute que le franchissement de l'obstacle ne sera effectif que si des activités complémentaires d'appropriation sont prévues pour utiliser le savoir nouvellement (re)construit (Plé, 2007).

Il convient de mentionner que l'auteure a demandé à deux autres enseignants de réaliser les mêmes expériences en fournissant tout le matériel ainsi que les séquences détaillées des SA. Ces expériences ont montré que si l'enseignant ne s'approprie pas les séquences et n'a pas une volonté de changer ses habitudes d'enseignement, les situations n'aboutissaient pas au but initial. En effet, les enseignants ont soit donné des pistes de la bonne réponse ce qui a coupé l'avenue à un conflit, soit laissé la parole aux plus avancés et le reste a simplement suivi. Donc, même si les séquences sont toutes planifiées, il faut que l'enseignant y adhère et gère la classe de sorte qu'un climat approprié au conflit sociocognitif puisse s'installer (Plé, 1997).

D'autres recherches menées sur les principes électriques ou les forces ont montré la nécessité de faire connaître l'histoire des concepts, car cela devient moins coûteux intellectuellement ou nécessite moins de charges cognitives quand on comprend l'évolution du concept (Bousadra, 2020). Par exemple, quand on comprend l'évolution des questions que les scientifiques se sont posées sur les résistances en électricité, il deviendra plus facile à l'esprit de rompre avec le sens du mot résistance vu comme limiteur de courant.

Peu de recherches ont été menées sur les concepts liés à l'organisation de la matière pour expliquer sa nature discontinue et ainsi comprendre ses propriétés et la formation des mélanges ou des substances pures ou la formation de nouveaux produits avec les réactions chimiques. De plus les recherches présentées, ont accordé une grande importance aux conceptions des élèves sans vérifier le regard de l'enseignant sur ces concepts. En effet l'enseignant comme tout expert peut avoir deux représentations contradictoires sur un concept donné et il convient de bien clarifier les éléments du concept et leur utilité avant de concevoir les activités.

5. OBJECTIF GÉNÉRAL DE RECHERCHE

Rappelons qu'il n'y a pas de solutions universelles pour atteindre un changement conceptuel, mais le « polymorphisme » de l'obstacle implique une diversité d'activités à proposer dans chaque situation (Brousseau, 1986 ; Peterfalvi, 1997).

Dans cet essai, notre objectif est de déterminer des moyens didactiques favorisant la déstabilisation et la déconstruction des conceptions initiales erronées qu'on peut rencontrer chez les élèves afin de faciliter leur apprentissage des concepts scientifiques liés au thème de l'organisation de la matière.

Dans le chapitre suivant, nous présentons le cadre théorique de cet essai.

DEUXIÈME CHAPITRE. CADRE DE RÉFÉRENCE

Dans ce chapitre, la théorie de changement conceptuel sera présentée et les deux paramètres clés choisis pour concevoir les activités pédagogiques seront expliqués et justifiés. Finalement la question spécifique de la recherche sera formulée avec l'objectif.

1. CHANGEMENT CONCEPTUEL

Le changement conceptuel est une rupture cognitive avec ses conceptions initiales et leurs modifications selon les savoirs scientifiques (Houdé, 2004. Plus récemment et grâce aux recherches en neurosciences, il ne s'agirait plus d'effacer ou de restructurer de façon approfondie les conceptions en place, mais plutôt d'apprendre à « inhiber » ou bloquer celles menant à la formulation de réponses inappropriées et d'activer celles conduisant aux savoirs d'experts (Babai, Younis et Stavy, 2014 ; Brault Foisy et coll., 2015 ; Houdé, 2016 ; Masson, 2012 ; Potvin, Riopel et Masson, 2007, cité dans Willame, B. et Snauwaert, P., 2018.).

Pour qu'un enseignant puisse guider les élèves à modifier ses conceptions et produire un changement conceptuel, plusieurs auteurs suggèrent que les apprenants devraient subir un conflit cognitif. Pour ce faire, en général les étapes suivantes sont suivies : 1) proposer un parcours qui active les connaissances antérieures pour connaître le véritable niveau conceptuel des élèves et identifier les conceptions initiales. 2) Rassurer les élèves sur leurs représentations primitives chargées affectivement pour ensuite, 3) critiquer ce complexe impur des impressions premières pour qu'ils prennent conscience, par leur propre démarche, des contradictions que leurs idées de départ les ont entraînées et ainsi la nécessité de les remplacer (Brousseau, 1986 ; Potvin, 2011,

Astolfi, 2010). Donc, l'idée comme Potvin (2011) le décrivait c'est de « mettre l'élève dans le pétrin » ou « faire buter les élèves sur la difficulté (Brousseau, 1986) » en mettant en échec, d'une façon répétée, ses modèles implicites, pour enfin les aider à s'en sortir sans le faire à leur place.

En outre, les conflits cognitifs peuvent avoir un caractère intériorisé ou social selon la conduite de l'enseignement. En effet, lorsque l'enseignant interdit les coopérations et utilise le travail individuel, l'étape de validation ne se fait qu'avec le maître qui détient les informations et les jugements. Dans ce cas, les conflits sont souvent évités complètement ou transformés en conflits affectifs, car le contrat didactique impose d'éviter les conflits avec le professeur (Brousseau, 1986). Par contre, lorsque l'enseignant privilégie le travail d'équipe et les débats durant l'étape de validation, les conflits sociocognitifs peuvent être un vrai moteur de dépassement d'obstacles (Brousseau, 1986 ; Peterfalvi, 1997). En effet les élèves intériorisent ce qu'ils ont expérimenté à travers les échanges de point de vue, des perceptions et de stratégies et à travers le modelage par les pairs et les experts ce qui peut faire évoluer leur capacité cognitive (Cantin, 2011). La rétention des apprentissages se fait mieux, car l'élève doit se justifier, reformuler, critiquer et restructurer ses connaissances (Raby et Viola, 2016). L'auteur explique que pour prendre la parole et pour « exister », l'élève envisage plus de positions délaissées et explore plus loin pour les exprimer (Brousseau, 1986). Cependant, le conflit sociocognitif est une technique didactique difficile à mettre en œuvre et demande certaines habiletés de l'enseignant au niveau de la gestion de classe, des risques de conflits et de la tolérance au bruit (Raby et Viola, 2016 ; Brousseau, 1986).

Pour résumer, on peut retenir que le changement conceptuel est produit généralement par un conflit cognitif ou sociocognitif. Cependant, le conflit cognitif n'est pas la stratégie universelle pour traiter les conceptions initiales, les méthodes varient selon la nature et l'importance de l'obstacle, le contenu et la conduite de l'enseignement (Brousseau, 1986). En fait, Potvin (2011) fait remarquer dans son livre que c'est souvent les mêmes élèves qui réussissent et les mêmes qui échouent ce qui insinue que les enseignants ne varient pas assez leurs approches. Il ajoute que pour atteindre tous les élèves, il faut créer un arsenal pédagogique multiple et complexe où l'ensemble des différentes qualités ou facilités qu'on retrouve chez ses élèves seront sollicitées. Il faut tantôt offrir des occasions où l'élève aura sa chance de briller et tantôt œuvrer dans ses zones de moins grandes forces pour redresser les faiblesses qui autrement resteraient cachées.

En outre, le changement conceptuel peut être temporaire comme les conceptions initiales sont plus anciennes et plus ancrées et elles peuvent resurgir intuitivement d'où l'importance de multiplier les types d'approches. En effet, pour que le changement soit durable, il faudra que le nouveau savoir ait été suffisamment « défriché et exploité pour devenir plus attrayant que l'ancien, en plus de permettre un accès plus facile, moins long, ou plus fertile (Potvin, 2011 p.218) ».

Donc, il ne suffit pas de provoquer cette insatisfaction avec les conceptions, mais l'élève doit voir le concept scientifique proposé comme intelligible, plausible et fécond (Potvin, 2011). Ainsi, on peut 1) revenir à la situation de départ pour que l'élève en aperçoive la plausibilité. 2) Concevoir aussi de nombreuses situations pour que l'élève voie la fécondation ou l'aspect utilitaire du phénomène dans l'exploitation des données réelles. 3) Proposer finalement une prise de conscience sur la stratégie qui a mené au changement conceptuel pour développer la

métacognition. Il est important, par exemple, de l'inciter à réfléchir sur ses conceptions, à les verbaliser, à les confronter à d'autres idées ou conceptions (Mondher, s.d.). Car, la différence entre celui qui oublie et celui qui se rappelle, c'est que l'expert doute consciemment ses idées en utilisant des stratégies métacognitives (Delisle, 2015).

1.1 Importance de provocation du conflit cognitif

Selon Mondher (s.d.) et Potvin (2011), il existe plusieurs moyens d'induction du conflit cognitif : a) discussion guidée par l'enseignant (« remue-méninges », mur parlant) ; b) entretien oral ; c) des analogies (un poumon c'est comme...) ; d) demande de définitions, de classification ou de schématisation ; e) raisonner par la négative (et si le soleil n'existait pas ?) ; f) discussion des faits d'apparence contradictoire ; g) des exemples et des contre-exemples ; h) réfutation de textes ; i) des liens avec le quotidien des élèves ; j) la démonstration et les expériences ; k) jeux de rôle ; l) interprétation ou annotation des schémas et m) questionnaires ouverts ou d'incitation (comment expliques-tu ? ou comment pourrait-on s'y prendre pour ?).

Donc, le rôle du conflit cognitif est de rendre explicite la conception initiale de manière à permettre qu'on développe « une bonne capacité à la reconnaître distinctement lorsqu'elle se manifeste, ainsi que celle de pouvoir choisir de refuser, consciemment, puis éventuellement de manière automatisée, de la mobiliser. (Potvin, 2011, p. 218). » Ainsi, le premier pas à accomplir pour atteindre un changement conceptuel permanent est de bien reconnaître d'une façon distincte ses conceptions. Le rôle de l'enseignant est primordial pour mettre la lumière sur les conceptions et le contexte de leur utilisation, amenant ainsi l'élève à prendre conscience de ses fausses représentations. En deuxième lieu et par l'intermédiaire des diverses activités, on donne à l'élève

la possibilité de consciemment refuser ses conceptions et d'utiliser les nouveaux savoirs. L'élève doit s'entraîner à plusieurs reprises à corriger ses erreurs (Rossi et coll. 2012). Finalement avec d'autres activités plus complexes et intégratives, l'élève pourra s'exercer à transférer son nouveau savoir et éventuellement l'automatiser. Le conflit cognitif n'est donc pas cette arme qui attaque les conceptions, mais c'est un éclairage là où règnent les évidences naïves incapables de nous permettre de résoudre ou de comprendre le monde qui nous entoure (Willame, B. et Snauwaert, P, 2018).

2. TRAME CONCEPTUELLE COMME PREMIER PARAMÈTRE DANS LA PRODUCTION DES ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES POUR L'ENSEIGNANT

Si l'on récapitule, la théorie dans laquelle s'ancre cette recherche, qui aspire la déconstruction des conceptions initiales, est le changement conceptuel. Ce dernier est produit généralement par la stratégie de conflit cognitif, mais d'autres stratégies s'imposent selon la nature de l'obstacle, de l'élève, du contenu et de modèle d'enseignement. L'essentiel est que les séquences d'apprentissage proposées amènent l'élève à percevoir le concept scientifique prescrit comme intelligible, plausible et fécond pour y adhérer. Donc, il faut tenter d'aider l'élève à percevoir l'utilité du concept en choisissant des activités qui se rapprochent de celles utilisant le même concept réellement. Il faut trouver des situations qui appartiennent au moins partiellement à celle que le concept en question permet d'expliquer, de prédire (quelque chose d'observable directement ou indirectement).

Cependant, dans la réalité de la pratique, l'enseignant est contraint d'agir dans l'urgence, de décider dans l'incertitude, de suivre le programme et d'ajuster son enseignement aux

caractéristiques des élèves (Potvin, 2011). Parfois, par souci de simplifier les choses pour l'élève au nom de l'évaluation et de la diplomation, des raccourcis peuvent être empruntés légitimement par l'enseignant ce qui dénature le contenu et ce faisant, celui-ci perd son sens d'origine et on risque de témoigner plus de clivage entre les élèves et les savoirs et leurs significations (Sauvageot-Skibine, 1997 ; Astolfi, 2014).

C'est en réponse à l'observation de ce type de confusions et de problèmes d'interprétations et de décompositions de savoirs qu'Astolfi et ses collaborateurs ont travaillé de longues années à développer l'outil didactique de la trame conceptuelle (Astolfi, 2011). En effet, cet outil n'impliquant que les énoncés opératoires des savoirs scientifiques, se veut un cadre pour réfléchir sérieusement à ce qu'il faut enseigner à l'élève et à rappeler à chaque héritier de savoirs scientifiques de ne pas perdre de vue l'essentiel des concepts scientifiques à enseigner (Demoumen et Astolfi, 1996 ; Bousadra, 2020).

2.1 Trame conceptuelle : c'est quoi ? Comment ? Pourquoi ? Et pour qui ?

Le document de la progression des apprentissages fourni par le MELS (Gouvernement du Québec, 2011) est en forme d'énoncés très brefs et condensés des thèmes du programme de formation. De plus, les différents manuels présentent chacun son interprétation. Donc, les contenus d'enseignement ne sont pas donnés, mais doivent être reconstruits ou traduits de leur forme condensée pour clarifier les notions constitutives à viser et à faire construire par les élèves à chaque niveau (Sauvageot-Skibine, 1994).

C'est quoi ? La trame conceptuelle traduit le savoir à enseigner d'une manière empirique afin de joindre plus facilement le raisonnement de l'élève.

Comment ? Il s'agit d'effectuer une modélisation graphique qui permet de visualiser les notions constitutives des concepts, leur interactivité et leur hiérarchie, en respectant les caractéristiques suivantes : 1) formuler une série d'énoncés scientifiques complets sous forme de phrases qui peut être lues d'une façon indépendante et qui en quelque sorte remplacent les expressions condensées dans le programme de formation. 2) Les énoncés doivent être « opératoires » permettant d'exploiter et d'interpréter des données empiriques ou de répondre à des problèmes scientifiques que les chercheurs se sont posés et non de simples énoncés déclaratifs juxtaposés à la façon des définitions des dictionnaires 3) hiérarchiser les énoncés entre eux, chacun englobant d'autres, plus élémentaires, et l'ensemble se présente comme un réseau orienté. 4) La hiérarchisation de la trame correspond à des implications logiques entre les énoncés, non à une succession chronologique préférentielle au sein d'une progression d'enseignement (Demoumen et Astolfi, 1996 ; Sauvageot-Skibine, 1994).

Pourquoi ? Cet outil vise à faire réaliser à l'enseignant le cheminement logique de chaque notion et l'aspect utilitaire de ce que l'on enseigne. Tout se passe comme si l'on jouait le rôle de traducteur d'un savoir condensé dans un concept et ce faisant on donne les clés pour clarifier le savoir à quiconque utilise la trame conçue (Demoumen et Astolfi, 1996 ; Sauvageot-Skibine, 1994).

En résumé la trame : 1) clarifie les contenus disciplinaires en permettant de penser les concepts comme une structure liant les notions constitutives et déterminant leur champ de validité

ou limite. 2) Aide à sélectionner un nombre limité de concepts clés de la discipline et à mieux les définir pour dégager l'essentiel, le secondaire et l'accessoire et ainsi mieux préparer les séquences d'apprentissage. 3) Explicite l'arrière-plan notionnel d'un concept dont les éléments n'apparaissent plus comme tels à l'esprit de l'enseignant qui les compacte mentalement à une seule unité sémantique insécable. En effet, les savoirs codés et condensés avec des lois et des invariants et cités avec un certain formalisme sont décodés en notions opératoires. 4) Conduit à diversifier les progressions pédagogiques possibles grâce à la structure en réseau. 5) Définit les limites à un niveau d'enseignement donné, car parfois l'information n'est pas complète exprès et doit juste se bâtir dans le cycle suivant (Demoumen et Astolfi, 1996 ; Sauvageot-Skibine, 1994).

Pour qui ? Concerne tous les enseignants avant de construire leur séquence d'enseignement, quel que soit le modèle pédagogique choisi.

2.1.1 Biais et limites

Pour clarifier les savoirs dans la trame conceptuelle, les informations dans les programmes de formation sont souvent insuffisantes, ainsi il faut faire une recherche plus approfondie et la tâche n'est pas toujours réussie. On recommande de le faire en groupe et d'avoir des discussions avec des collègues qui ont une très bonne connaissance de la matière et de la langue. En effet, certains mots peuvent amener de l'ambiguïté ou recouvrir des idées différentes. L'élaboration de la trame demande aussi plusieurs essais et peut recourir à plusieurs manières de procéder : souvent on débute par une définition en essayant de trouver les notions indispensables à cette formulation. Ensuite à chaque notion on ouvre un éventail pour préciser son contenu ou poser toutes les phrases comme dans une vignette indépendante. Finalement, par tâtonnement on part de l'une d'elles et on

se réajuste par les confrontations avec les pairs. On peut aussi débiter par un simple réseau de concepts pour préciser les limites avant de clarifier les éléments ou hiérarchiser le contenu d'une façon intuitive au début pour discuter et se réajuster par la suite sur la nature des liens (Sauvageot-Skibini, 1994). Il n'y a donc pas de voie royale et la tâche peut être ardue et demander plusieurs essais ainsi le jugement de la direction de recherche spécialisée en didactique serait cruciale.

3. PRISE EN COMPTE DES CONCEPTIONS ET DES OBSTACLES COMME DEUXIÈME PARAMÈTRE DANS LA PRODUCTION DES ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES

Les conceptions erronées de l'apprenant, comme discuté dans la première partie, sont loin d'être un frein ; ils sont des outils de diagnostics qui doivent être utilisés pour examiner les conditions de leur franchissement possible (Astolfi, 2014a). Ils constituent un enjeu conceptuel, une grille de lecture pour comprendre ce que disent et font les élèves pour mieux voir avec quelle difficulté ils sont aux prises et pour orienter en conséquence ses interventions (Astolfi 2014b ; Astolfi 2010). Parfois, un réseau d'erreurs doit être franchi pour que le concept ne reste pas sur son mode réducteur qu'il possède avec les sens, mais qu'il fait sens. Si ces obstacles ancrés ne sont pas franchis, on ne peut pas acquérir le concept (Astolfi, 2014a).

En didactique, un obstacle, selon Mondher (s.d., p.4), est caractérisé par les cinq caractéristiques suivantes :

- « 1) c'est une connaissance (et non une absence de connaissance). 2) elle permet de donner des réponses adéquates à certains problèmes ou classes de problèmes. 3)

Elle conduit à des réponses erronées dans d'autres types de problèmes. 4) Elle présente une résistance à toute modification ou transformation et se manifeste de manière récurrente (c'est-à-dire qu'elle redevient prédominante dans certaines situations, même après avoir été remplacée, en apparence, par une nouvelle connaissance). 5). Le rejet de cette connaissance aboutira à une connaissance nouvelle ».

Il ne suffit pas à l'enseignant de reconnaître l'importance des conceptions erronées, mais il faut savoir les interpréter et identifier leurs sources pour pouvoir les traiter. Parmi les mécanismes responsables de ces conceptions, il y'a l'inférence, la restriction, l'extension, l'établissement d'un lien direct entre deux idées et la formation des catégories générales mentales (Potvin, 2011). Ces mécanismes sont normalement utiles dans plusieurs situations, mais pour les concepts scientifiques, surtout présumés, ils peuvent causer un réseau d'erreurs qui forme un obstacle à l'appropriation du contenu.

3.1 La typologie des erreurs et des obstacles

Plusieurs travaux de recherches ont été consacrés sur les types d'erreurs qui sont le reflet des conceptions erronées et d'obstacles. Ces ressources peuvent servir à l'enseignant comme une grille pour repérer le nœud de difficulté et concevoir les tâches pour les traiter.

Le Tableau 1 représente une liste tirée de plusieurs ressources : Astolfi (2014b); Sauvageot-Skibine (1997); Astolfi (2010); Mondher, s.d., Potvin (2011) et Bousadra, (2020). La liste montre que certains obstacles sont inévitables ou ne doivent pas être évités comme les

obstacles épistémologiques, en particulier parce que leur franchissement doit être intégré dans les connaissances ultérieures, d'autres sont plus erratiques, ont un caractère plus personnel ou encore peuvent être évités par des dispositions didactiques appropriées.

Tableau 1. Liste des obstacles et des conceptions erronées les plus communes

Erreurs ou obstacles	Définition
L'obstacle ontogénique ou psychologique	Obstacle qui s'exprime lorsque l'apprentissage demandé est trop en décalage par rapport à la maturité conceptuelle du sujet. Quelle que soit l'explication, l'élève ne comprend pas ce qu'on lui demande, le développement de sa pensée restant étrangère au terrain conceptuel sur lequel on veut l'amener. L'obstacle est lié au développement cognitif de l'élève.
L'obstacle culturel (et/ou socioculturel) :	Obstacle dû à une connaissance véhiculée par le contexte culturel et/ou social, déjà traitée scientifiquement, mais toujours présente
L'obstacle épistémologique : obstacle incontournable lié au développement historique des connaissances et dont le rejet a dû être intégré explicitement dans les savoirs transmis (Brousseau, 1986)	Obstacle de l'expérience première : consiste à s'attacher aux aspects impressionnants et artificiels d'un phénomène ce qui évite d'en saisir les aspects importants.
	Obstacle verbal : le mot ou l'image tiennent lieu d'explication
	Obstacle animiste : repose sur la valorisation de la vie. Consiste à attribuer à des objets inertes des propriétés des organismes vivants.
	Anthropomorphisme : se manifeste lorsque l'élève raisonne comme s'il était dans la situation de l'animal, de l'organe, de la molécule et qu'il leur prête ses idées et ses intentions.
	Finalisme : se manifeste lorsqu'on affirme que toute structure a une fonction et une nécessité et cette structure a été voulue pour remplir cette fonction
L'obstacle didactique (Astolfi, 2014)	Obstacle dû à des choix ou du système éducatif (transposition didactique) ou à des choix de telle ou telle stratégie d'enseignement. Ils sont inévitables, car on ne peut pas supprimer les étapes, les approximations, les analogies plus ou moins pertinentes lors de l'apprentissage.
Conceptions erronées dues à une pensée catégorielle (Potvin, 2011)	Une forme de pensée qui permet de classer les objets en fonction des propriétés communes et nous empêche parfois de comprendre (la formation des catégories générales mentales).

Conceptions dues au primat de la perception (Brousseau, 1986)	Ici, c'est ce qu'on voit ou perçoit ou avons l'habitude de vivre quotidiennement est ce qui compte.
Conceptions dues à la survalorisation ou la dévalorisation (Astolfi, 2014)	Une forme de pensée influencée par les représentations sociales qui attribuent implicitement une charge affective à certains faits.
Conceptions dues à la posture épistémologique (Brousseau, 1986)	Une forme de pensée qui refuse de mettre en doute toute théorie scientifique considérée comme la vérité absolue.
Conceptions dues au raisonnement spontané (Astolfi, 2014)	Ici, c'est l'intuition ou l'impression qu'on peut avoir basé souvent sur nos expériences (l'inférence, la restriction, l'extension).
Conceptions dues au raisonnement par analogie (Potvin, 2011)	On s'inspire d'éléments ou de situations semblables pour tirer des conclusions (l'établissement d'un lien direct entre deux idées).
Conceptions dues aux représentations culturelles (Mondher, s.d.)	On utilise des références culturelles pour illustrer nos propos.
Erreurs liées à la compréhension des consignes (Astolfi, 2014)	Mauvaise compréhension des verbes d'action ; définition erronée d'un concept ou l'emploi d'un autre cadre de référence ; ambiguïté dans la formulation de la question
Erreurs dues aux habitudes scolaires (Astolfi, 2014)	Le contrat didactique ou le besoin d'approbation de la part de l'enseignant ; excès de conceptualisation ; la coutume et les obstacles didactiques
Erreurs liées aux surcharges cognitives (Astolfi, 2014)	Surcharge de la mémoire de travail ; la surabondance des concepts et du vocabulaire intégrés dans la mémoire à long terme.

Source. Astolfi, 2014b ; Sauvageot-Skibine, 1997 ; Astolfi, 2010 ; Mondher, s.d., Potvin, 2011, et Bousadra, 2020.

3.2 Analyse des erreurs sur la nature de la matière à l'aide de la grille des erreurs les plus communes

Dans cette section, on reprend les erreurs reportées chez les élèves par rapport aux concepts de l'organisation de la matière en utilisant la grille du tableau 1. Cette étape, comme démontrée,

peut mieux guider la planification des parcours à suggérer dans le but de franchir ces obstacles et obtenir un changement conceptuel profitable.

Tableau 2. Analyse des réponses des élèves selon la typologie des erreurs

Réponses des élèves sur les substances pures et les mélanges ainsi que sur l'atome et sa nature constitutive de la matière	Obstacles ou erreurs identifiées
Le lait qui venait de sortir directement de la vache était une substance pure	L'obstacle verbal qui explique le phénomène d'organisation de la matière par le sens quotidien du mot pur et du mot mélange.
L'aspirine avec sa formule chimique ou l'éthanol ne pouvaient pas être des substances pures, car ils sont fabriqués en laboratoires. Aussi, l'eau du robinet transparent est une substance pure.	L'erreur de la pensée catégorielle quand on affirme que les composés produits en usine ne peuvent pas être purs. L'erreur du primat de la perception c'est-à-dire je ne conçois que ce que je vois.
Le dioxyde de carbone est un mélange, mais l'oxygène ou l'azote sont des substances pures.	L'erreur de l'attribution d'une valeur à un fait (dévalorisation) comme quelques élèves affirment que l'oxygène est un bon gaz il est classé dans les substances pures alors que le dioxyde de carbone est classé dans les mélanges L'erreur de la posture épistémologique qui donne un statut supérieur à certains éléments.
Les élèves pensent que les choses sont saupoudrées d'atomes qui sont déposés par-dessus ou qui flottent par-dessus les choses. Les atomes sont comme des poussières éparpillées sur la surface des objets. Ces objets sur la surface ont une continuité et sont indépendants des objets qui nous entourent.	L'obstacle ici était didactique avec les images et les modèles d'atomes une à la fois ou en boules colorées en 2D qu'on représentait souvent à l'élève et qui finit par l'induire en erreur.
On n'imagine pas l'atome avec du vide à l'intérieur ou autour. Le vide dans l'atome est rempli d'air et si on met l'objet dans l'eau, le vide se remplit d'eau	Erreurs d'analogie avec des systèmes macroscopiques plus connus. Aussi des erreurs liées au primat de la perception qui n'imaginait pas ce vide.

L'ajout d'un soluté dans un solvant ne change pas le volume de la solution ou augmente toujours le volume.	Erreurs d'analogie avec les masses qui s'ajoutent ou le raisonnement spontané avec l'intuition que plus on ajoute du soluté plus que la solution augmente.
--	--

Source. Analysé selon Astolfi, 2014b ; Sauvageot-Skibine, 1997 ; Astolfi, 2010 ; Mondher, s.d., Potvin, 2011, et Bousadra, 2020.

Ainsi, l'élève ne se représente pas la matière comme des atomes ou des particules minuscules ou ne perçoit pas la matière en discontinu dû à plusieurs mécanismes identifiés. Donc, les combinaisons entre les atomes ou les molécules sont contre-intuitives pour les élèves. Ceci nous amène à identifier deux grands obstacles :

- 1) L'élève croit que « la matière est continue » ou ne comprend pas la présence des espaces entre les atomes ou les molécules et ne réalise pas qu'à l'échelle de l'atome, ce dernier est presque vide dû à la taille des sous-particules (noyau et électron) par rapport aux distances qui les séparent (ce qui s'apparente à l'espace qui est aussi presque vide).
- 2) L'élève ne saisit pas l'abstrait que les gaz sont de la matière et que la combinaison des atomes forme des molécules à différentes propriétés.

Une fois que ces obstacles sont dégagés, un travail intellectuel de la part de l'enseignant est nécessaire pour proposer des activités qui permettront leur franchissement ou au moins de débiter des transformations intellectuelles dans la pensée des élèves.

3.3 Formulation de l'objectif spécifique de recherche

Les recherches en didactique reconnaissent la nécessité de mettre les conceptions erronées des élèves au cœur même de l'apprentissage dans le but de produire un changement conceptuel

profitable et durable. Par contre, dans la phase de la conception des séquences d'apprentissage, l'enseignant fait face à de nombreuses difficultés avec les contenus, dans les manuels ou le document du MELS, présentés avec un certain formalisme et d'une manière condensée. L'outil de la trame conceptuelle s'il est combiné avec la prise en compte des conceptions est susceptible d'aider l'enseignant à préparer une multitude de situations variées pour un concept donné.

Cette étude sur la déconstruction des conceptions erronées liée au concept de l'organisation de la matière vise à **produire des activités pédagogiques en exploitant l'outil didactique de la trame conceptuelle associée à une prise en compte des conceptions erronées pour bien viser l'angle d'attaque de ces conceptions**. Dans les faits, les conceptions erronées seront identifiées selon les écrits et les observations. Par la suite, la trame conceptuelle sera élaborée en prenant en considération les obstacles et en respectant les critères définis dans le cadre conceptuel. Une variété de séquences d'apprentissage sera conçue selon la nature de l'obstacle et du contenu clarifié dans la trame. Dans l'analyse, on procédera à une vérification de la correspondance de la trame aux critères établie et à une vérification que les activités conçues prennent en compte les conceptions préétablies et sont bien intelligibles, plausibles et fécondes.

TROISIÈME CHAPITRE. LA MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, on présente la méthodologie suivie dans le but de concevoir des activités d'apprentissage perceptibles, plausibles et fécondes pour les élèves en s'appuyant sur les douze devis méthodologiques de Paillé (2007). En premier lieu, on revoit les conceptions des élèves sur les principes liés à l'organisation de la matière. Ensuite, en se basant sur les obstacles identifiés, la trame conceptuelle est élaborée en forme de tableau et de graphique en respectant les principes de progression des apprentissages (Gouvernement du Québec, 2011).

1. LA MÉTHODOLOGIE

Selon les douze devis méthodologiques de Paillé (2007), il s'agit de conception de SAE qu'il propose de réaliser selon les étapes suivantes :

- 1) Réalisation du cadre conceptuel des activités :
 - a) Identifier les conceptions erronées liées aux concepts de l'organisation de la matière basés sur les publications et aussi sur les expériences personnelles avec des élèves aux deux cycles de secondaires.
 - b) Élaborer la trame conceptuelle liée aux concepts de l'organisation de la matière et conforme à la progression des apprentissages selon le MELS (Gouvernement du Québec, 2011).
- 3) Choix des moyens d'apprentissage (exposé oral, dessin, imagerie mentale, questionnaire, etc.).
- 4) Mise au point des stratégies d'apprentissage (résolution de problème, étude de cas, projet collectif, réseau de concepts, etc.).
- 5) Préparation des situations d'apprentissage.

- 6) Conception du scénario d'apprentissage.
- 7) Vérification de la correspondance de tous les éléments de l'activité d'apprentissage avec le cadre conceptuel.
- 8) Réflexion sur le travail de conception en tant que tel
- 9) Indication des limites des activités et de leur prolongement possible

Ainsi, cette méthodologie sera suivie en opérationnalisant les deux paramètres choisis dans le but d'aider les enseignants dans leur phase de planification en relation avec le thème de l'organisation de la matière.

1.1 Les obstacles ou les conceptions des élèves en relation avec les principes d'organisation et de propriétés de la matière.

Plusieurs conceptions ont été publiées et résumées dans la section du Deuxième chapitre.3.2 en relation avec les principes d'organisation et de propriétés de la matière. En plus des publications, des élèves de 5^e et 2^e secondaire de l'école secondaire Mont-Royal offrant le programme international (classé parmi les meilleurs dix écoles publiques selon l'institut Fraser 2019/2020) ont passé un questionnaire (Annexe A) sur la nature de la matière pour confirmer ou infirmer les conceptions publiées dans les recherches. Le Tableau 3 résume les concepts scientifiques et les conceptions ou les obstacles qui empêchent leur appropriation ainsi que des pistes de solution trouvées dans les publications.

Tableau 3. Les concepts scientifiques, les conceptions inattendues sur l'organisation de la matière et des solutions

Les concepts scientifiques visés	Les conceptions inattendues et les obstacles (Potvin (2011); Plé (1997); Willame, B. et Snauwaert, P. (2018))	Les solutions (Potvin (2011); Plé (1997); Willame, B. et Snauwaert, P. (2018))
<p>1. Les atomes ne sont pas contenus dans le matériau, elles sont le matériau.</p> <p>2. Où que ce soit dans l'Univers, toute matière vivante ou non vivante est faite d'un très grand nombre de ces blocs de base, les atomes, dont il existe environ cent espèces différentes.</p>	<p>1. Les élèves pensent que les choses ne sont pas faites d'atomes ou de particules – les atomes ne sont pas constitutifs de la matière (obstacle didactique, primat de la perception).</p> <p>2. Ces objets sur la surface ont une continuité et sont indépendants des objets qui nous entourent (analogies et primat de la perception).</p> <p>3. On n'imagine pas l'atome avec du vide à l'intérieur ou autour (obstacle didactique, primat de la perception).</p> <p>4. Le vide dans l'atome est rempli d'air et si on met l'objet dans l'eau, le vide se remplit d'eau (erreur d'analogies et de primat de la perception).</p> <p>5. Le vivant est basé sur des substances fondamentalement différentes de celles qui composent le non-vivant (erreur de survalorisation du vivant).</p> <p>6. L'ajout d'un soluté dans un solvant ne change pas le volume de la solution ou augmente toujours le volume (erreur d'analogies et de primat de la perception).</p>	<p>« L'initiation des élèves à cet univers trop petit pour être perçu et étrange pour être modélisé est une intrusion dans l'abstrait. Il ne faut pas précipiter les réponses et décliner et expédier toutes les caractéristiques. Le but n'est pas de hâter la réponse, mais bien de faire comprendre. Si on enseigne le manuel, les élèves réussiront, mais plusieurs passeront à côté de caractère constitutif de l'atome (Potvin, 2011 p. 128) ».</p> <p>Expérience inspirée du modèle de Nussbaum et Novick (1982), où l'élève est mis en conflit cognitif quand il trouve que 50 ml d'eau et 50 ml d'éthanol font moins que 100 ml. Par la suite l'enseignant explique le nouveau concept avec des exemples et des images colorées qui illustrent les espaces entre les atomes (Potvin, 2011).</p> <p>Plé (1997) suggère des activités conçues pour faire réaliser que : l'air est pesant - l'air peut transmettre un mouvement à un objet solide - l'air peut s'opposer au déplacement des substances reconnues matérielles (solides et liquides) - l'air peut être transvasé.</p> <p>Willame, B. et Snauwaert, P. (2018) suggère des activités de calcul de</p>

	7. Les substances pures sont des substances formées dans la nature (obstacle verbal, erreur de pensées catégorielles, erreur de survalorisation ou dévalorisation).	concentration par rapport au volume total de la solution et aussi par rapport au volume du solvant pour réaliser les changements dans les volumes et les erreurs de calcul provenant de la négligence de l'effet du volume du soluté.
--	---	---

C'est important de souligner que si ce modèle abstrait de l'atome, des molécules et des espaces entre eux n'est pas construit dans l'esprit de l'élève, plusieurs autres phénomènes risquent de ne pas être compris en profondeur. Si l'on passe à côté de la nature discontinue de la matière, l'élève peut implicitement penser que le sel ou le sucre ont disparu lors du phénomène de la dissolution ou que l'air invisible n'est pas de la matière qui a différente densité ce qui l'empêchera de comprendre les phénomènes de convection (transfert de chaleur, différents climats). Si la fondation n'est pas bien mise sur cette nature de la matière, l'interprétation des transformations physiques comme la formation des nuages ou des fumées seront susceptibles à être déformé dans leur esprit, ainsi que les différentes propriétés ou transformations de la matière. Le Tableau 4 est un exemple des quelques conceptions qui peuvent être le résultat de l'incompréhension de la nature discontinue de la matière :

Tableau 4. Les conceptions engendrées par l'incompréhension de la nature discontinue de la matière

8. Concepts visés	9. Conceptions engendrées par l'incompréhension de la nature discontinue de la matière
1. Les propriétés des différents matériaux peuvent être expliquées à partir du comportement et des propriétés des atomes, ou des	1. La molécule d'eau H_2O flotte à la surface de l'eau, car elle est plus légère que celle-ci. 2. L'eau s'évapore en air et les bulles de l'eau qui bouille sont formées d'air. 3. L'air n'est pas une matière.

groupes d'atomes, dont ils sont constitués.	4. Le sel ou le sucre disparaissent dans l'eau.
2. Ces particules ne sont pas immobiles, mais se déplacent au hasard dans des directions variées au sein du matériau. La vitesse à laquelle elles se déplacent se traduit par la température du matériau.	5. La température et la chaleur produisent le même effet.
	6. Les nuages sont faits de vapeur d'eau (alors qu'en réalité les nuages sont liquides, mais on étend très souvent les propriétés des gaz à tout ce qui tient en l'air).

1.2 Questionnaire pour faire l'état conceptuel des élèves à différents cycles

Le questionnaire en Annexe A avait des questions qui assuraient l'élève sur ce qu'il sait ensuite il devait réfléchir et se positionner sur la nature discontinue de la matière. En effet, on demande à l'élève si on coupe un fil de fer en deux et on recommence l'opération plusieurs fois, est-ce qu'éventuellement à un moment où le fil de fer sera si court qu'on ne le reconnaît plus comme du fer, qu'il devienne autre chose? Ici, on vise à rassurer l'élève que le fer comme matière vu et touché par nos sens reste toujours du fer. Ensuite, on demande si on ajoute quatre gouttes de colorant dans un bécher d'eau puis on le vide de moitié et on rajoute de l'eau de sorte à diluer le colorant de la moitié à chaque fois. Est-ce qu'à un moment donné on va se retrouver juste avec de l'eau? Ici, on vise de savoir si l'élève comprend que les molécules du colorant ne restent pas à l'infini dans l'eau. Est-ce que l'élève est conscient de la nature discontinue de la matière et des espaces entre les particules ?

1.2.1 Résultat du questionnaire

La question clé qui sera analysée est celle de l'ajout du colorant avec l'effet de la dilution. Pour le premier cycle et pour un total de 90 élèves, 99% ont répondu qu'un colorant va toujours rester dans un bécher, quel que soit le nombre de fois qu'on dilue la solution. Ainsi, les élèves

adhèrent massivement à l'idée que la matière est continue; qu'une solution, dans laquelle on a ajouté quelques gouttes de colorant bleu, va toujours avoir des traces de ce colorant, peu importe le nombre de fois qu'on dilue la solution. Le même constat a été observé pour 29 des 30 élèves de secondaire 5 qui affirmaient qu'il va toujours y avoir une faible quantité de colorant même s'il est invisible. Les élèves malgré leur réussite ont passé à côté l'idée fondamentale de la nature discontinue de la matière et semblaient toujours adhérer à l'idée d'Aristote qui s'opposait à l'idée de la présence des atomes avancée par Démocrite en -642 av. J.-C.

1.3 La trame conceptuelle

Maintenant que les difficultés sont identifiées, les concepts liés à l'organisation de la matière du premier et du deuxième cycle seront réunis dans une trame conceptuelle qui tentera de donner une fonction opératoire aux différentes connaissances. La trame serait évaluée et validée par la directrice de l'essai.

La trame conceptuelle est notre deuxième pilier qui servira de guider les choix des activités. L'élaboration de la trame n'est pas une légère tâche et requiert une maîtrise et un approfondissement de la matière pour pouvoir traduire les concepts condensés dans les manuels en savoirs qui font du sens et qui sont utiles pour les élèves. Ainsi, pour guider ces derniers, il faut que le guide ou l'enseignant ait une vision claire de la matière : il faut qu'il dégage l'essentiel, trouver l'objet empirique dont il s'agit ou l'essentiel sans quoi le tout s'effondre. En effet, l'enseignant comme tout expert peut avoir des conceptions qui cohabitent avec les connaissances scientifiques et donc il est nécessaire de revenir au sens qualitatif des concepts et de (ré)découvrir leur utilité avant de planifier les activités. Si cet exercice n'est pas entrepris par l'enseignant, ce

dernier risque de simplifier et fractionner les savoirs au nom de l'évaluation et de la diplomation et le prix fort serait l'incapacité des élèves de conceptualiser et de mettre en œuvre les concepts scientifiques, malgré leur réussite aux examens (Potvin, 2011 ; Astolfi, 2010). Ainsi, notre but n'est pas nécessairement les notes, mais surtout une transformation intellectuelle dans l'esprit de l'élève qui lui donnera du pouvoir dans les différentes situations.

Comme présenté dans le cadre conceptuel il n'y a pas de voies royales pour élaborer la trame. Dans cet essai, on a choisi de 1) dresser la liste des concepts tels que présentés dans le document de la progression des apprentissages (PA) du MELS (Gouvernement du Québec, 2011), 2) choisir cinq idées clés qui englobent plusieurs concepts, 3) élaborer une série de phrases opératoires pour chacune de ces cinq idées, 4) lier les idées principales et secondaires dans un tableau et dans un graphique d'une façon à garder la cohérence des principes et à les hiérarchiser pour mettre l'emphasis sur le sens et l'utilité de chaque concept.

1.3.1 Correspondance entre la liste des concepts selon la progression des apprentissages du MELS et les idées principales de la trame conceptuelle

Les concepts concernant l'organisation de la matière dans le document de la PA du MELS (Gouvernement du Québec, 2011) sont listés par cycle et groupés sous deux titres, soit l'organisation de la matière ainsi que les propriétés de la matière. Premièrement, on a lié une idée principale simple et qualificative à plusieurs principes dans la liste du document (PA). Ainsi, on avait cinq idées principales qui groupent plusieurs principes de la liste du document du MELS. En deuxième lieu, on a utilisé ces cinq idées comme des noyaux pour ajouter des idées secondaires qui donneront plus une fonction opératoire aux concepts. Le tableau ci-dessous résume la

correspondance entre les principes condensés du MELS et les idées qualificatives inspirées de Halen et coll, 2015. :

Tableau 5. Correspondance entre la liste des concepts selon le MELS (Gouvernement du Québec, 2011) et cinq idées principales qui vont représenter le noyau des idées de la trame (Halen W et coll. 2015).

Concepts condensés selon la progression des apprentissages du MELS (Gouvernement du Québec, 2011)	Cinq idées principales qui traduisent les concepts condensés (Halen W et Coll, 2015).	
<p>a. Atome Décrire le modèle atomique de Dalton Définir l'atome comme étant l'unité de base de la molécule</p> <p>b Molécule Décrire une molécule à l'aide du modèle atomique de Dalton (combinaison d'atomes liés chimiquement) Représenter la formation d'une molécule à l'aide du modèle atomique de Dalton</p> <p>c. Élément Définir un élément comme étant une substance pure formée d'une seule sorte d'atomes (ex. : Fe, N₂)</p> <p>d. Tableau périodique Décrire le tableau périodique comme un répertoire organisé des éléments</p>	<ul style="list-style-type: none"> Les atomes sont les constituants élémentaires de toute matière vivante ou non vivante. 	1 ^{er} cycle (11-14 ans)
<p>e. Propriétés caractéristiques Définir une propriété caractéristique comme étant une propriété qui aide à l'identification d'une substance ou d'un groupe de substances. Distinguer des groupes de substances par leurs propriétés caractéristiques communes (ex. : les acides rougissent le tournesol) Associer une propriété caractéristique d'une substance ou d'un matériau à l'usage qu'on en fait (ex. : on utilise le métal pour fabriquer une casserole parce qu'il conduit bien la chaleur)</p> <p>a. Point de fusion Identifier une substance par son point de fusion à l'aide d'un document de référence</p> <p>b Point d'ébullition Identifier une substance par son point d'ébullition à l'aide d'un document de référence.</p> <p>c. Température Décrire l'effet d'un apport de chaleur sur le degré d'agitation des particules Définir la température comme étant une mesure du degré d'agitation des particules</p>	<ul style="list-style-type: none"> Le comportement des atomes, souvent organisés en molécules, explique les propriétés des différentes sortes de matière. 	1 ^{er} cycle (11-14 ans)

<p>Expliquer la dilatation thermique des corps</p> <p>d. Masse volumique. Expliquer le concept de masse volumique Déterminer la masse volumique de différentes substances Identifier des substances liquides et solides par leur masse volumique à l'aide d'un document de référence</p> <p>e. Solubilité Définir le concept de solubilité Décrire l'effet d'une variation de température sur la solubilité d'une substance</p> <p>f Acidité/basicité Déterminer les propriétés observables de solutions acides, basiques ou neutres (ex. : réaction au tournesol, réactivité avec un métal)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Déterminer le caractère acide ou basique de substances usuelles (ex. : eau, jus de citron, vinaigre, boissons gazeuses, lait de magnésie, produit nettoyant) 		
<p>a. Substance pure Définir une substance pure comme étant une substance formée d'une seule sorte d'atomes ou de molécules Distinguer un élément (ex. : fer, dioxygène, sodium) d'un composé (ex. : eau, gaz carbonique, glucose)</p> <p>b. Mélanges homogène et hétérogène Décrire des mélanges homogènes et des mélanges hétérogènes présents dans le corps humain (ex. : lymph, sang, urine)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les réactions chimiques correspondent à des réarrangements des atomes entre substances pour en former de nouvelles 	2 ^e cycle (14-17 ans)
<p>a. Particules élémentaires Décrire la position et la charge électrique des particules élémentaires dans un atome (proton, électron, neutron)</p> <p>b. modèle atomique simplifié Représenter un atome d'un élément donné à l'aide du modèle atomique simplifié</p> <p>c. Notation de Lewis Déterminer le nombre d'électrons de valence d'un élément Représenter des atomes à l'aide de la notation de Lewis</p> <p>e. Ions polyatomiques Reconnaître des ions polyatomiques usuels (ex. : NH_4, OH, NO_3, CO_3, SO_4, PO_4) à l'aide de leur nom, de leur formule ou de leur composition</p> <p>g. Masse atomique relative et isotopes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Définir les isotopes comme étant des atomes d'un élément dont les noyaux possèdent des nombres de neutrons différents, donc des masses atomiques différentes. Expliquer qualitativement le concept de masse atomique relative. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaque atome possède des neutrons et des protons, entourés d'électrons. • Les charges électriques opposées des protons et des électrons s'attirent mutuellement, donnant aux atomes leur stabilité et permettant la formation de molécules et de substances variées 	2 ^e cycle (14-17 ans)

Rappelons que la trame doit avoir une cohérence et une idée principale qui guide le reste des cinq idées et des autres principes. Cette idée est en quelque sorte l'essentiel sans quoi le tout s'effondre. Toujours dans le livre de Halen W et coll, publié en 2015 on rapporte une idée sur

laquelle repose toutes les autres : « toute la matière du monde est constituée de particules de taille minuscule (Halen W. et coll, 2015, p.62) ».

Ce point de départ avec les autres cinq idées principales qui traduisent les principes condensés du MELS, met la lumière sur la nature discontinue de la matière. Avant même d'essayer de clarifier les principes secondaires, l'enseignant peut réaliser facilement que le cœur et l'esprit de cet univers matériel sont dans la discontinuité de la matière qui nous entoure. Tout ce plein que l'élève voit avec ses sens doit être dépassé pour assimiler l'abstrait et imaginer la présence de ces atomes et surtout de l'espace entre eux. Sans quoi, l'élève ne pourra pas comprendre d'autres phénomènes comme la dissolution, les changements de phase et les réactions chimiques par la suite.

1.3.2 Ajout des idées secondaires aux cinq idées principales

Maintenant, on présentera la trame qui groupe les principes de l'organisation et des propriétés de la matière en forme de tableau ainsi qu'en forme de graphique avec des couleurs pour chaque intervalle d'âge. Le jaune et l'orange sont pour des principes appris au primaire, le bleu pour le premier cycle de secondaire (11-14 ans) et le blanc pour le deuxième cycle (14-17 ans).

Tableau 6. La trame conceptuelle incluant l'essentiel, les cinq principes de bases et les autres principes secondaires de l'organisation de la matière (inspiré et modifié de Halen W et coll., 2015)

L'essentiel

Toute la matière du monde est constituée de particules de taille minuscule

Idée principale 1 = Les atomes sont les constituants élémentaires de toute matière vivante ou non vivante. Ils sont microscopiques et indivisibles.

Idées secondaires au primaire	Idées secondaires pour les 11-14 ans – 1^{er} cycle :			
<i>On appelle matière toutes les choses rencontrées dans la vie quotidienne, y compris l'eau, l'air ou les différentes espèces de substances solides, parce qu'elles ont une masse et occupent de l'espace.</i>	<i>Si un matériau pouvait être divisé en morceaux de plus en plus petits, on trouverait que ceux-ci sont faits de particules de taille si petite qu'elle ne peut pas même être vue avec un microscope.</i>	<i>Le plus petit morceau d'un matériau est appelé atome. Où que ce soit dans l'Univers, toute matière vivante ou non vivante est faite d'un très grand nombre de ces blocs de base, les atomes, dont il existe environ cent espèces différentes.</i>	<i>Ces particules ne sont pas contenues dans le matériau, elles sont le matériau.</i>	<i>La taille d'un atome est minuscule, approximativement on peut trouver dans le diamètre d'un cheveu de 0.001 cm 1 million d'atomes de carbone collés. Les substances faites d'une seule espèce d'atomes sont appelées éléments chimiques. Tous les atomes d'un même élément sont identiques.</i>

Application ou fonction opératoire ou le pouvoir qu'on peut se procurer avec ces connaissances : Interpréter pourquoi il faut mélanger bien lors de l'ajout de plusieurs substances. Interpréter le phénomène de la dissolution. Prédire pourquoi on ajoute du sel sur les chaussées glacées. Prédire la variation des volumes de solutions avec l'ajout de solutés.

Idée principale 2 = Les comportements des atomes, souvent organisés en molécules, expliquent les propriétés des différentes sortes de matière.

<i>Idées secondaires au primaire</i>	<i>Idées secondaires pour les 11-14 ans – 1^{er} cycle :</i>			
<p><i>Les différents matériaux sont reconnaissables à leurs propriétés, certaines d'entre elles servent à les classer en solides, en liquides ou en gaz. Lorsque certains matériaux sont combinés, il arrive qu'ils forment un nouveau matériau, dont les propriétés diffèrent de celles du matériau original; d'autres matériaux se mélangent simplement sans changement permanent et peuvent être à nouveau séparés.</i></p>	<p><i>Les propriétés des différents matériaux peuvent être expliquées à partir du comportement et des propriétés des atomes, ou des groupes d'atomes, dont ils sont constitués.</i></p>	<p><i>Ces particules ne sont pas immobiles, mais se déplacent au hasard dans des directions variées au sein du matériau. La vitesse à laquelle elles se déplacent se traduit par la température du matériau.</i></p>	<p><i>Ces particules peuvent s'attirer ou se repousser les unes les autres. La différence entre solide, liquide et gaz peut s'expliquer selon cette séparation plus ou moins grande et par la force d'attraction entre particules voisines. Plus cette force d'attraction entre particules est intense, plus il faut d'énergie pour les séparer, par exemple en passant de la forme solide à la forme liquide ou d'un liquide à un gaz. Cela explique pourquoi les matériaux ont différents points de fusion et d'ébullition.</i></p>	<p><i>Des atomes peuvent combiner pour former un très grand nombre de molécules. Les molécules ainsi créées et maintenues ensemble par des forces inter et intramoléculaires dans une substance auront des propriétés différentes des atomes qui les constituent.</i></p> <p><i>Une réaction chimique implique le réarrangement des atomes dans les substances réagissent entre elles pour former de nouvelles substances, tandis que la quantité totale de matière demeure la même.</i></p>

Application ou fonction opératoire ou le pouvoir qu'on peut se procurer avec ces connaissances : Interpréter pourquoi la température d'ébullition est différente selon la pression atmosphérique. Prédire les applications selon les propriétés caractéristiques de différents matériaux. Interpréter les différentes étapes pour purifier l'eau et séparer les contaminants. Comprendre le phénomène de changements de phases et celui de formation des nuages ainsi que le phénomène de formation des vents par des courants de convection des molécules d'air à différentes densités.

Idée principale 3 = Les réactions chimiques correspondent à des réarrangements des atomes entre substances pour en former de nouvelles.

Idées secondaires pour les 11-14 ans – 2e cycle

Les atomes de différents éléments peuvent être combinés pour former un très grand nombre de composés

Une réaction chimique implique le réarrangement des atomes dans les substances réagissent entre elles pour former de nouvelles substances, tandis que la quantité totale de matière demeure la même.

Idee principale 4 = Chaque atome possède un noyau contenant des neutrons et des protons, entourés d'électrons.

Idées secondaires pour les 14-17 ans – 2e cycle

Les atomes eux-mêmes possèdent une structure interne, formée d'un noyau comprenant des protons et des neutrons, entourés d'électrons.

Les électrons et les protons possèdent une charge électrique : celle d'un électron étant dit négatif et celle d'un proton positif. Les atomes sont neutres, ces charges se compensant exactement.

Les électrons se déplacent rapidement dans la matière, formant des courants électriques et causant des forces magnétiques. L'effet global est une force d'attraction qui tient ensemble les atomes ou les molécules dans les corps.

L'atome existe dans un univers pouvant être apparenté au vide de l'espace. Les électrons et le noyau occupent un espace beaucoup plus petit par rapport au diamètre de l'atome. À l'échelle de l'atome, ce dernier est presque vide.

Dans certains atomes, le noyau est instable et peut émettre une particule, processus appelé radioactivité. Ce processus conduit à l'émission de rayonnements d'une quantité d'énergie bien supérieure à l'énergie échangée lors d'une réaction entre atomes.

Application ou fonction opératoire ou le pouvoir qu'on peut se procurer avec ces connaissances : Évaluer les énergies radioactives et l'application de la production de l'électricité avec l'énergie nucléaire. Interpréter la présence de la magnétosphère entourant la Terre.

Idee principale 5 = Les charges électriques opposées des protons et des électrons s'attirent mutuellement, donnant aux atomes leur stabilité et permettant la formation de molécules et de substances variées.

Idées secondaires pour les 14-17 ans – 2e cycle

Lorsque certains électrons sont supprimés d'un atome ou s'y ajoutent, celui-ci possède alors une charge positive ou négative, et il est appelé ion.

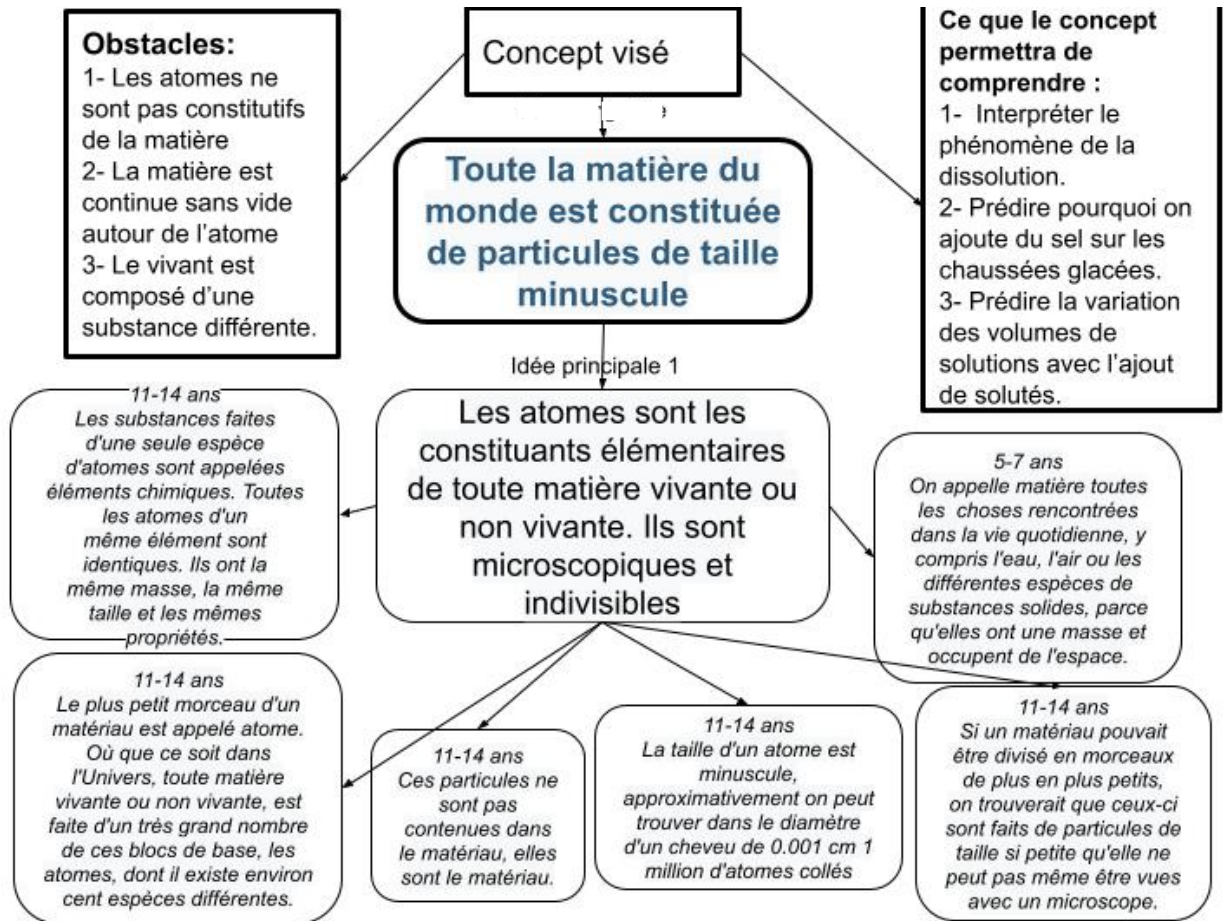
Les différentes configurations des électrons dans les différents éléments créent des affinités électroniques de sorte que soit les atomes cherchent à rapprocher les électrons de leur noyau; on dit qu'ils ont électronégatives. Soit qu'ils cherchent à éloigner les électrons leur noyau; on dit qu'ils sont électropositifs. Ils peuvent aussi être inerte ne cherchant ni à rapprocher les électrons ni à les éloigner c'est le cas des gaz inertes.

Cette affinité électronique explique les combinaisons entre certains atomes pour former une molécule stable. Cette molécule stable peut être de la même sorte d'atome, on parle d'un élément polyatomique ou elle peut être de différentes sortes d'atomes on parle d'un composé.

Application ou fonction opératoire ou le pouvoir qu'on peut se procurer avec ces connaissances : prédire les produits de réactions chimiques. Usage des électrolytes dans les piles.

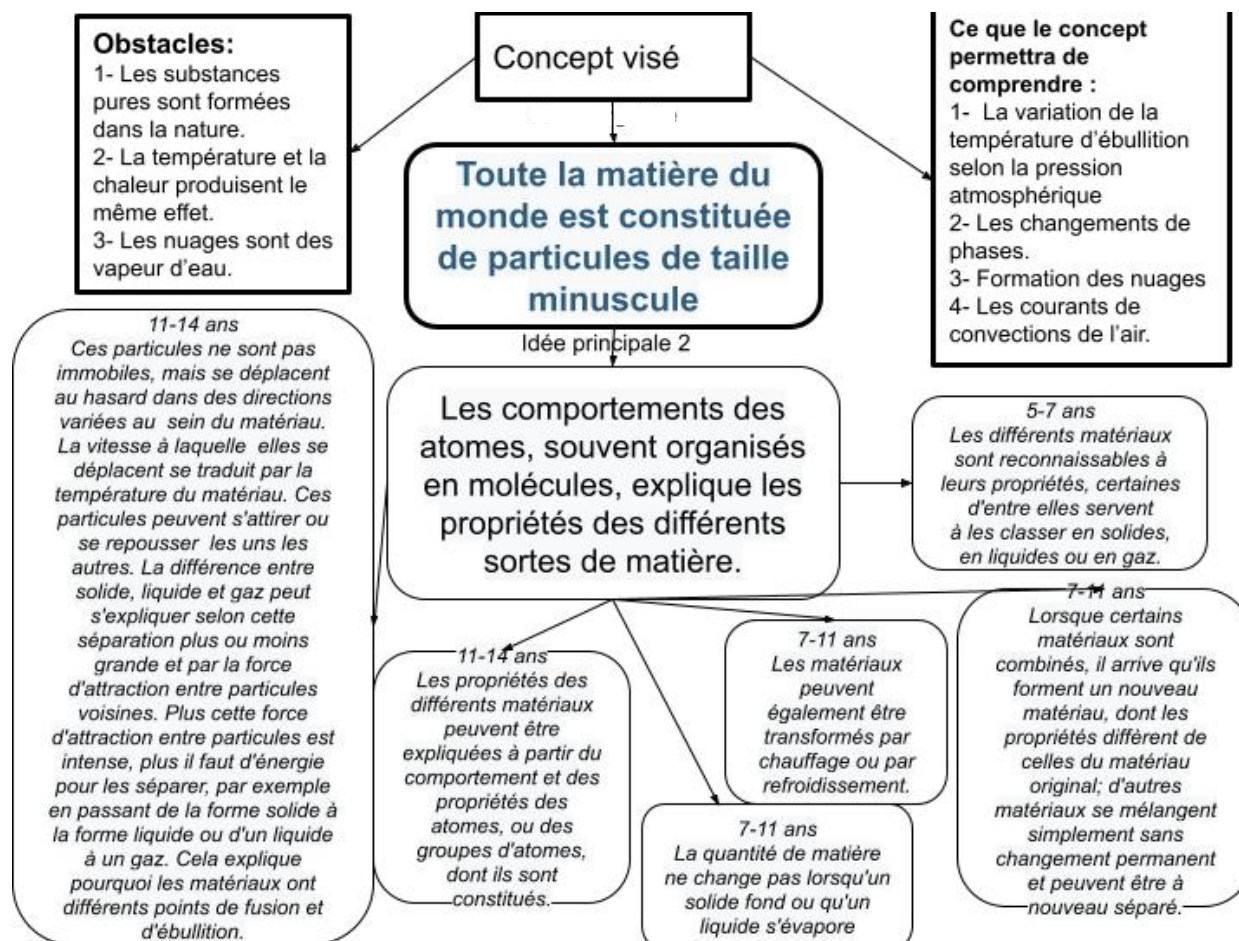
1.3.3 La trame conceptuelle en cinq figures

Dans le but de clarifier mieux la trame, on la présente ci-dessous en forme de cinq figures qui correspondent chacune à une des idées principales. De plus, on lie les idées aux obstacles et aux applications que le concept permettra de comprendre. Une seule grande trame est présentée en Annexe B.



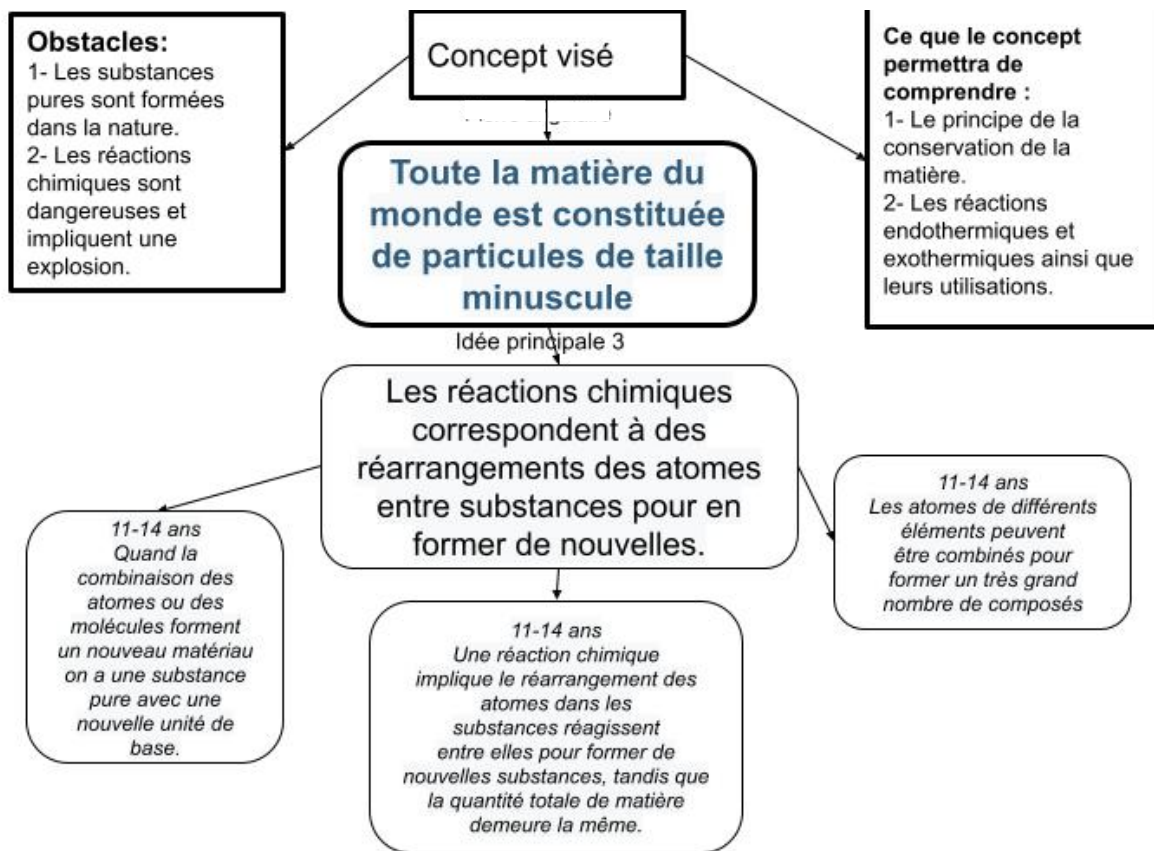
Note. Idées inspirées et modifiées de Halen et Coll. 2015.

Figure 2. Première trame sur la première idée principale de la nature de la matière



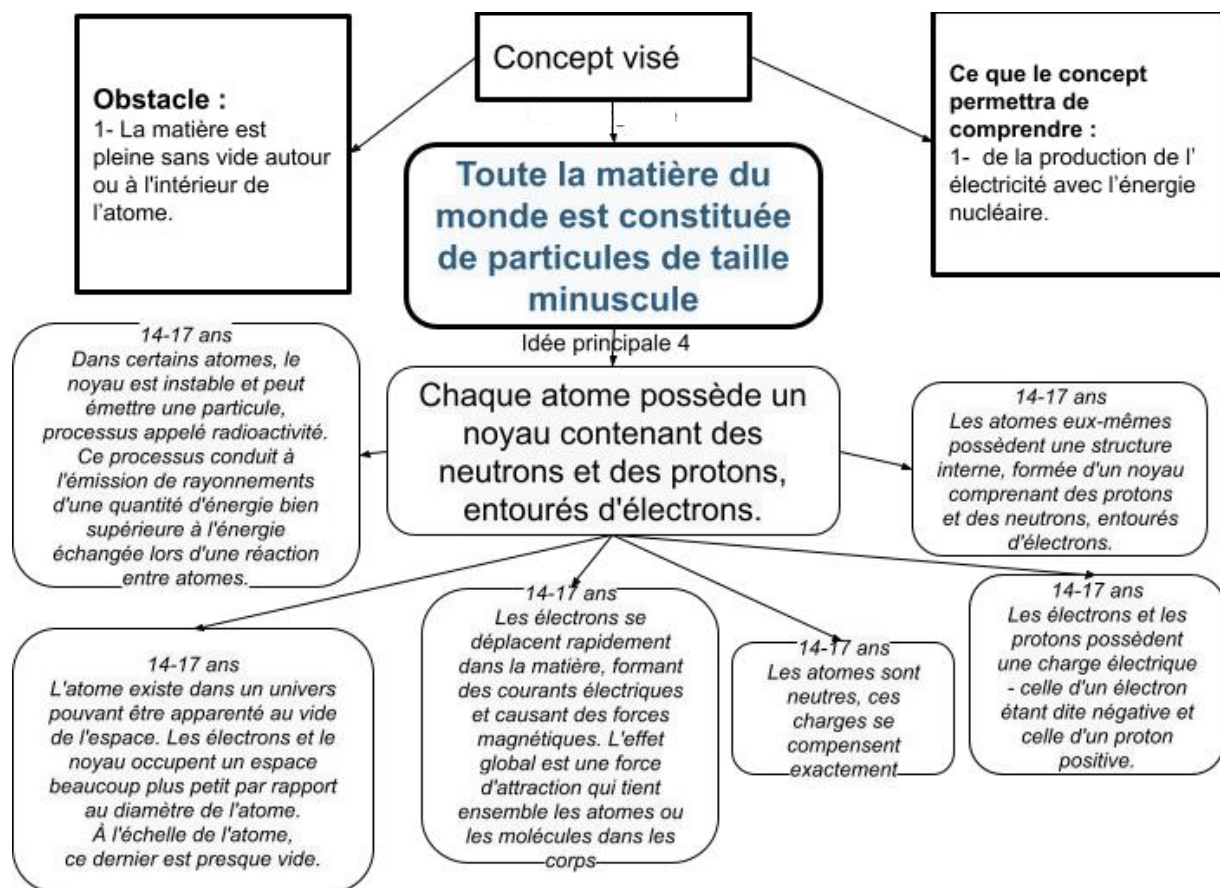
Note. Idées inspirées et modifiées de Halen et Coll. 2015.

Figure 3. Deuxième trame sur la deuxième idée principale de la nature de la matière



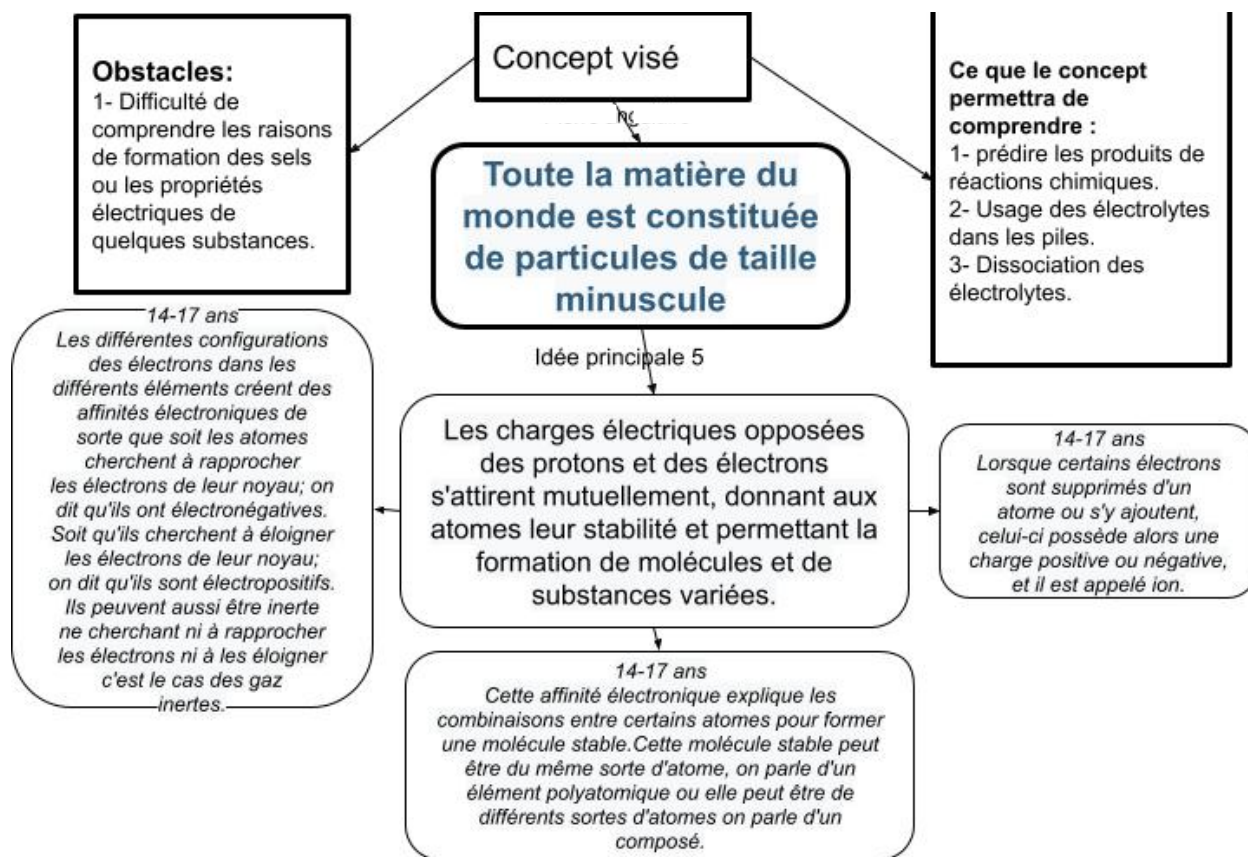
Note. Idées inspirées et modifiées de Halen et Coll. 2015.

Figure 4. Troisième trame sur la troisième idée principale de la nature de la matière



Note. Idées inspirées et modifiées de Halen et Coll. 2015.

Figure 5. Quatrième trame sur la quatrième idée principale de la nature de la matière



Note. Idées inspirées et modifiées de Halen et Coll. 2015.

Figure 6. Cinquième trame sur la dernière idée principale de la nature de la matière

Tout enseignant soucieux qui vise que les savoirs scientifiques deviennent des savoirs d'émancipation pour les élèves et non de dominations avec des connaissances déclaratives et juxtaposées à apprendre, débutera par la trame en renouvelant la question du savoir, en clarifiant le champ empirique et le problème à étudier. Une fois la trame élaborée, il suffira de concevoir les tâches de sorte à véhiculer l'image ou le sens clarifié en s'appuyant, autant que possible, sur les pratiques sociales de références. Ainsi l'élève comprendra mieux et peut avoir un pouvoir d'action pour interpréter le monde qui l'entoure et peut dégager l'utilité, l'apport, les critères et les limites

du concept. La tâche n'est pas facile, mais cette vision de long terme donnera aussi un meilleur contrôle surtout pour les enseignants débutants, comme moi-même, quand une activité ne se passe pas comme prévu ou des discussions secondaires débutent par des élèves. Cet enseignant sera mieux outillé pour guider les élèves autrement en canalisant leurs pensées sur l'essentiel.

Ainsi, cette vision à long terme, à notre avis et selon notre expérience de nouveau enseignante, nous outille mieux et nous donne un pouvoir pour aider l'élève à s'en sortir de ses obstacles et de ses impressions implicites sans le faire à sa place en le mettant au cœur même de son apprentissage. Sachant le sens et l'utilité du concept, l'enseignant pourra mieux diversifier ses approches et évitera le fractionnement du savoir. En effet, le souci ne sera pas de présenter les connaissances d'une façon cohérente, mais de munir l'élève avec un pouvoir avec ces connaissances. Le choix des activités ne sera pas exclusif au choix magistral, mais bien au contraire, on cherchera à voir l'élève en action avec les concepts scientifiques.

Si l'on combine cette vision avec une connaissance des conceptions implicites des élèves, cela nous permettra de choisir mieux les situations et de mettre encore plus le doute dans l'évidence surestimée.

Dans ce chapitre, les deux piliers sur lesquelles la phase de la planification s'appuiera ont été réalisés. L'enseignant surtout novice peut maintenant cibler mieux la conception des activités et surtout guider mieux les élèves vers une transformation intellectuelle qui développera leur esprit scientifique ainsi que leur identité.

QUATRIÈME CHAPITRE. RÉSULTATS – PROPOSITION DES ACTIVITÉS DIDACTIQUES

Dans ce chapitre, à la lumière de la trame et des obstacles identifiés, les activités sont conçues avec la prise en compte du lien affectif que l'élève tient envers ses conceptions. Rappelons que pour atteindre le changement conceptuel souhaité, le rôle de ces activités est en premier lieu de rendre explicite la conception initiale de manière à permettre à l'élève de la reconnaître distinctement lorsqu'elle se manifeste. Ensuite, à l'aide de plusieurs situations, il pourra consciemment choisir de refuser sa conception et d'utiliser le nouveau savoir et finalement avec des situations plus complexes, il pourra mobiliser le concept adéquat et éventuellement l'automatiser (Potvin, 2011, p. 218). Donc, les séquences des activités se dérouleront selon plusieurs étapes : 1) la première est la prise de conscience des conceptions pour bien les reconnaître d'une façon distincte. 2) La deuxième étape est la découverte et l'entraînement par l'intermédiaire des diverses activités qui donnent à l'élève la possibilité de consciemment refuser ses conceptions et d'utiliser les nouveaux savoirs. Ainsi, l'élève peut s'entraîner à plusieurs reprises à corriger ses erreurs (Rossi et coll. 2012). 3) finalement, avec d'autres activités plus complexes et intégratives, l'élève pourra s'exercer à transférer son nouveau savoir et éventuellement l'automatiser.

Donc, dans ce chapitre, nous avons misé sur la variété des activités allant d'activités créant de conflits cognitifs à d'autres, plus traditionnelles ou qui permettent à l'élève de s'exercer et surtout de mobiliser le nouveau savoir et de comprendre son utilité. Une présentation de quelques applications vécues avec les élèves suivra la conception des activités.

1. PREMIÈRE ÉTAPE DE LA PRISE DE CONSCIENCE DES CONCEPTIONS

Notre première séquence sera centrée sur la prise de conscience des conceptions. Plusieurs activités sont prévues pour amener l'élève à reconnaître distinctivement ses conceptions. À cette étape, on rassure surtout l'élève et on recueille par écrit les conceptions pour éviter que l'élève les nie par la suite. Rappelons que le but n'est pas d'aller en guerre contre les conceptions et les écraser ou les anéantir, mais nous essayons plutôt d'y mettre de la lumière, de désamorcer les difficultés et de renforcer, parfois, quelques réflexions qui peuvent représenter de bons éléments à conserver (DiSessa, 2006 cité dans Potvin, 2011 p.233).

1.1 Prévenir l'élève des difficultés dans les tâches proposées

L'approche adoptée pour permettre cette prise de conscience est donc une approche de prévention qui prépare l'élève pour la suite. Ainsi, contrairement aux méthodes d'induction de conflits où on prend l'élève par surprise (Nussbaum, J., et Novick, S., 1982), on va éviter d'endormir sa vigilance. En effet, on compte prévenir l'élève qu'un piège existe et que les difficultés dans cette notion sont répandues et que les suites des activités vont l'aider à réaliser et à dépasser ses difficultés. Effectivement, les séries d'expériences menées sur le cerveau par la tomographie par émission de positron (PET – Scan) montrent que l'élève qui a continué à adhérer à ses conceptions n'a pas été passif, mais au contraire il a activement ignoré les réponses en contradiction avec ses conceptions (Houdé, 2016). Donc, selon les dernières recherches, une préparation, avant durant et après, des difficultés possibles dans les tâches proposées devient un préalable pour réussir de les désamorcer et contribuent à activer des régions associées au contrôle cognitif et à l'apprentissage (Houdé, 2016, et Potvin, 2011).

À notre avis, ce modèle qui se base sur les recherches en neurosciences est plus susceptible de rassurer l'élève et de développer sa capacité à reconnaître distinctivement les conceptions et consciemment choisir de les refuser et éventuellement mobiliser un concept plus adéquat (Potvin, 2011).

Dans cette perspective, on suggère dans le Tableau 7 que l'enseignant utilise un discours susceptible à développer des habitudes favorables à reconnaître ses difficultés. Cette étape, à notre avis, est aussi importante que les activités, car elle transforme l'enseignement à une formation de l'esprit ou de la façon d'apprendre et non seulement à un apprentissage des concepts scientifiques.

Tableau 7 Exemples de discours susceptibles à développer des habitudes favorables à l'apprentissage (inspiré et adapté de Durant, M.-J. et Chouinard, R., 2012).

Aspect	Formulation possible par l'enseignant
Cognitif (on évite de prendre l'élève par surprise on le prépare pour qu'il active mieux les régions associées au contrôle cognitif).	« Ces questions contiennent certaines difficultés et confusions qui sont très répandues et qui peuvent survivre à l'enseignement, répondez de votre mieux et des repères vous seront données en cours de route pour éviter ces confusions (inspiré de Potvin, 2011). »
Métacognitif (d'une façon continue ou chaque fois que le risque existe de glisser d'une idée à une autre).	« Méfiez-vous des réactions initiales de votre logique, car ils ne vont pas toujours dans la direction de l'apprentissage (inspiré de Potvin, 2011). »
Méthodologique.	« Si tu ne te souviens plus des consignes ou que tu n'as pas d'idée pour répondre, écris tes idées en forme de réseau de concepts que tu peux t'en servir par la suite (inspiré de Durant, M.-J. et Chouinard, R., 2012). »
Affectif.	« C'est super, la prochaine fois rappelle-toi que les scientifiques ont souvent vécu les mêmes difficultés. Il faut expliciter tes difficultés ressenties (inspiré de Durant, M.-J. et Chouinard, R., 2012). Tes réactions sont normales, des chercheurs comme Bachelard, 1938 disaient qu'il faut « penser contre le cerveau ».

1.2 Les activités de prise de conscience des difficultés

Notre concept de base est la nature discontinue de la matière que l'on considère la condition primordiale pour assimiler le comportement microscopique de la matière et par la suite pouvoir accommoder plusieurs autres phénomènes comme la dissolution, le calcul des concentrations, les changements de phases et le transfert de chaleur. On rappelle que cette première étape est surtout un éclairage pour que l'élève arrive, dans un environnement sans jugement, de reconnaître par écrit ses conceptions. Ici, on va éviter de miser sur une activité vedette qui induit le conflit cognitif. On va plutôt prendre en considération plusieurs facteurs comme la différence entre les niveaux des élèves, l'expérience de l'enseignant et le degré d'attachement affectif aux obstacles et on va essayer de concevoir plusieurs activités pour permettre cette induction. Ainsi, si l'élève n'a pas pu reconnaître ses conceptions dans une première activité, il pourra s'y reprendre dans d'autres. Quant aux élèves qui ont pu prendre conscience des difficultés, ils peuvent s'entraîner dans les activités consécutives et même découvrir les savoirs des experts.

Pour bâtir la séquence de prise de conscience, nous avons construit un tableau, inspiré de Sauvageot-Skibine, M. (1997), nous permettant de mettre en relation le concept en jeu, le projet didactique de travail sur l'obstacle, l'activité pédagogique et l'activité intellectuelle supposée de l'élève. Le Tableau 8 nous illustre les détails des différentes étapes du scénario.

Tableau 8 Activités pédagogique de la prise de conscience des conceptions

Concept visé	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Activités pédagogiques dans la phase de préparation	Activité intellectuelle supposée de l'élève

Les atomes sont les constituants élémentaires de toute matière vivante ou non vivante. Ils sont microscopiques et indivisibles.	<p>Repérage des obstacles à travers l'expression des représentations des élèves sur la présence d'un soluté, si on le dilue plusieurs fois et aussi les variations des volumes quand on mélange plusieurs substances.:</p> <p>(1) les atomes ne sont pas constitutifs de la matière (2) la matière est continue sans vide autour de l'atome (3) le vivant est composé d'une substance différente,</p>	ACTIVITÉ 1 Questionnaire Distribution d'un questionnaire, pour permettre l'expression individuelle de représentations sur la nature de la matière, afin de repérer les obstacles (les questions sont inspirées des conceptions identifiées et des expériences de Nussbaum, J., et Novick, S., 1982).	Rechercher dans les connaissances antérieures et les intuitions si la matière est discontinue et les mobiliser en répondant au questionnaire qui dévoilera leur adhésion.
		ACTIVITÉ 2 Expériences des sommes des volumes Deux expériences avec des objets macroscopiques, solides : boules de golf, sable et petites cubes collées, pour voir l'effet sur le volume total des mélanges de solide (activité inspirée et modifiée de Nussbaum, J., et Novick, S., 1982).	Prédire si le volume de deux matières solides mélangées est égal aux sommes de leur volume individuel. Ensuite, faire l'expérience pour confirmer ces prédictions.
		ACTIVITÉ 3 Calcul des volumes Des expériences pour calculer les sommes des volumes de différents solutés : sel, éthanol, sucre et huile (activité créée).	Prédire si les volumes des solutions sont la somme des volumes de solutés et solvants. Faire l'expérience pour confirmer ces prédictions.

Dans cette phase, trois activités sont proposées. Le but est de mettre l'élève graduellement dans une situation qui ferait mobiliser ses conceptions, mais aussi qui le mettrait en

questionnement, essayant ainsi de préparer l'esprit pour la suite. Comme Astolfi (2014b) disait, il faut purifier l'esprit avec des questionnements avant d'assimiler des connaissances scientifiques abstraites. C'est bien cette induction de conflit ou cet éclairage ou questionnements qui sera le début de la nouvelle construction.

Dans la première activité, l'élève à travers un questionnaire est amené à consigner ses adhésions sur la nature de la matière. Les questions n'ont pas l'aspect de savoirs scientifiques et font appel à la logique de l'élève. Selon Vermersh (2000) cité dans Potvin (2011), il faut aller au-delà des premières réponses verbalisées des élèves, car les circonstances ainsi que le contrat didactique peuvent amener les élèves à des réponses qui ne représentent pas leur adhésion. Ainsi pour bien sonder les mécanismes qui se trouvent à l'origine des conceptions on va exiger d'eux deux autres activités qu'ils vont mener en équipe et qu'ils doivent ensuite présenter.

Durant l'activité 2, on demande à l'élève de prédire si on mélange 1 litre de balles de golf et 1 litre de sable si cela va former 2 litres. Aussi, si on mélange 1 litre de balles de golf avec 1 litre de petits cubes collés si la somme donnera 2 litres. En utilisant des balles de golf, du sable et des cubes collés, l'élève peut prédire et voir au niveau macroscopique que selon les tailles et les formes des solides, les interactions changent quand on les mélange et par conséquent le volume total peut varier. Ensuite, l'élève peut mettre directement ces hypothèses à l'épreuve en faisant l'expérience lui-même. Les recherches affirment que faire des démonstrations devant les élèves risque de ne pas les intéresser, car ils ignorent ce qu'ils doivent observer ou conclure et ainsi on s'éloigne de notre but de la prise de conscience (Potvin, 2011). Donc, dans un premier temps on utilise des substances solides qu'on peut voir et toucher comme illustré dans la figure suivante. Normalement,

c'est logique de prédire que le sable va remplir les espaces entre les balles de golf et ainsi le volume du cylindre avec les balles ne va pas changer. Aussi, les tubes collés, même s'ils sont petits c'est relativement facile de penser qu'ils ne vont pas remplir les espaces comme ils sont collés et leurs formes ne vont pas permettre de rentrer entre les espaces. Ici, on assure l'élève sur ses capacités et ces moments de brillances peuvent le motiver de continuer et de prédire ce qu'il ne voit pas en se basant sur ces conclusions de l'activité 2.

Ce parallèle avec les formes et les tailles macroscopique est primordial dans la suite des activités, car l'élève peut déjà créer un modèle avec des particules et des espaces.

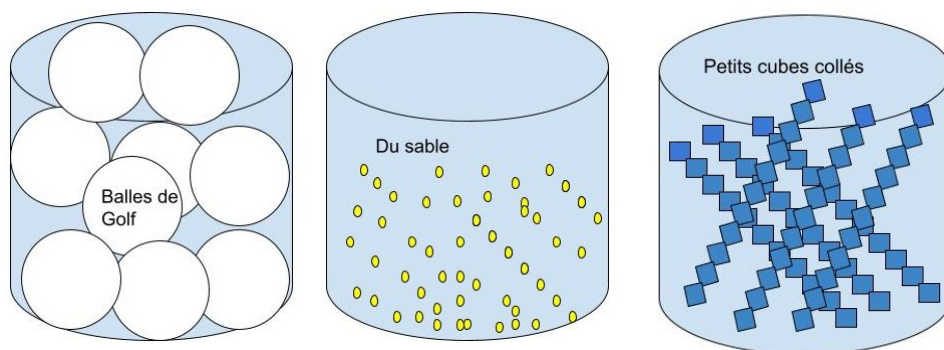


Figure 7. Première activité avec des solides de différentes tailles.

La dernière activité vise à montrer à l'élève que les volumes varient quand on mélange deux liquides ou un soluté dans un solvant. Ici, le but n'est pas de le faire conclure la nature discontinue de la matière, mais surtout de mettre le doute que si les solutions formées ne donnent pas les mêmes volumes, cela pourrait être une preuve que les molécules microscopiques peuvent agir de la même manière que les solides macroscopiques comme les balles et les cubes. On pense qu'à ce stade, l'élève a conscience que la difficulté est dans les interactions microscopiques qu'il ne peut pas voir. Probablement, les plus avancés peuvent se faire une idée déjà que la matière au

niveau microscopique est discontinue et c'est pour cela que les volumes ne s'ajoutent pas nécessairement.

Les prochains scénarios seront surtout dirigés vers une découverte et plusieurs activités d'entraînement.

2. SÉQUENCE DE DÉCOUVERTE ET D'ENTRAÎNEMENT

Plusieurs recherches reconnaissent cette difficulté de passer du niveau macroscopique au niveau microscopique en utilisant les représentations iconographiques qui compliquent l'apprentissage (William et Snauwaert, 2018). Ainsi, selon le chercheur Berg (2012), les visualisations du modèle particulaire souvent représenté en forme de boules de différentes couleurs en 2 D, peut poser des difficultés aux apprenants et présenter un obstacle didactique. Ainsi, on va éviter les images de ces boules dans les explications pour mieux permettre à l'élève de rentrer dans ce monde abstrait et invisible d'atomes et de leurs interactions.

Probablement à ce stade, quelques élèves qui voient le sel se dissoudre dans l'eau peuvent toujours rester sur une vision macroscopique et penser que les particules de sels ont disparu. D'autres qui n'envisagent toujours pas les entités de solutés comme entités individuelles capables de réaliser des liaisons avec l'eau croient que le sel a absorbé l'eau. Finalement, même pour ceux qui ont compris la nature discontinue de la matière, ils peuvent prédire que l'ajout du sel dans l'eau va diminuer le volume de l'eau, car il va occuper l'espace entre les molécules de l'eau sans considérer d'autres facteurs comme la polarité ou la taille ou formes des différentes molécules (Williame et Snauwaert, 2018). En effet les recherches ont montré qu'il ne suffit pas de

comprendre cette nature discontinue, mais il faut se rendre compte aussi que plusieurs facteurs interagissent dans un mélange. Les élèves même s'ils assimilent la notion de la discontinuité, ils ont des difficultés à considérer plusieurs données microscopiques (tailles, formes, polarités) ensemble pour comprendre les modèles proposés par les experts (Tumay, 2016). Donc, c'est à l'enseignant de bien élucider cette nature discontinue et de multiplier les exemples qui montrent le contexte de différents types d'interactions entre les substances.

Ainsi dans le Tableau 9, on suggère plusieurs activités allant de présentation magistrale, à des expériences à réaliser en laboratoire, à des dessins et des illustrations à effectuer et finalement des phénomènes à expliquer. Le but est de rendre la nature discontinue de la matière intelligible, plausible et féconde pour que l'élève s'exerce assez pour choisir de refuser ses conceptions et éventuellement d'automatiser son nouveau savoir.

Tableau 9 Activités pédagogique de découverte et d'entraînement

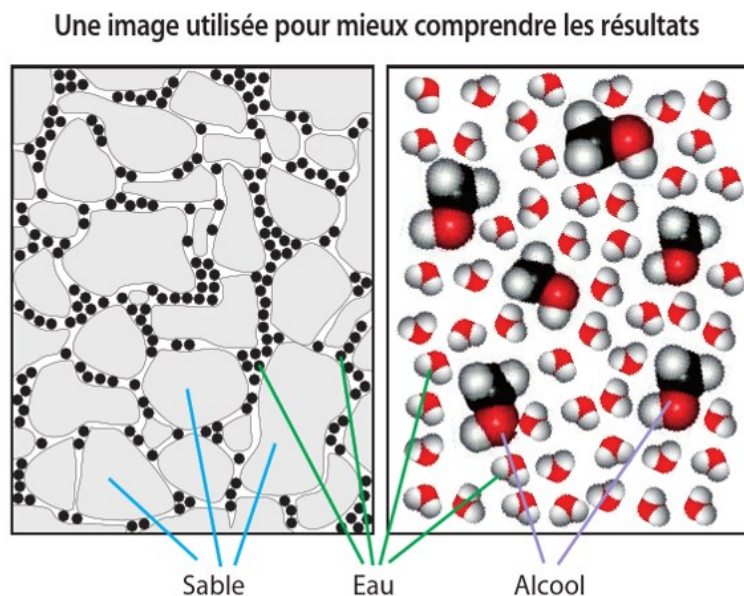
Concept visé	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Activités pédagogiques dans la phase de préparation	Activité intellectuelle supposée de l'élève
La nature discontinue de la matière et le comportement des atomes, souvent organisés en molécules, expliquent les propriétés de différentes sortes de matière.	Découvertes des espaces entre les atomes à l'aide des images. Ensuite, réaliser que plusieurs facteurs combinés déterminent les interactions possibles entre les différentes substances.	ACTIVITÉ 4 Présentation magistrale (Annexe C) Illustrer la présence des espaces entre les atomes. Expliquer les variations de volume en faisant un parallèle avec les différentes formes et tailles des solides (balles de golf, sables et cubes collés). Activité 4 est créée et les photos de la	Découvrir que dans tout ce plein qui nous entoure, il y'a du vide et même plein de vide. La discontinuité forme des espaces et quand on ajoute un autre soluté ce dernier peut remplir les espaces. Le volume final dépend de la taille et de la forme de l'autre soluté ajouté.

		présentation sont prises du livre de Potvin, 2011, et du cahier d'apprentissage des élèves au secondaire 3 - Système, Éditions CEC.	
		ACTIVITÉ 5 Calculs de concentrations (inspiré de Willame, B. et Snauwaert, P., 2018). Demander à l'élève de trouver l'erreur qu'un technicien a commise quand on lui a demandé de préparer une solution de 100 g/litre de l'eau salée et pour ce faire, ce dernier a mesuré 1 litre d'eau et a ajouté ensuite les 100 grammes de sel.	Conclure que dans les calculs de concentrations, il est important de se baser sur le volume de la solution finale et non du solvant qui ne reste pas constant.
		Activité 6 Explication de la dissolution Un élève du primaire affirme que le sucre a disparu dans l'eau. Est-ce que tu peux l'aider dans tes mots et à l'aide d'un dessin du modèle particulière que le sucre est dissous dans l'eau.	Avec un dessin, illustrer la discontinuité de la matière et la présence de particules distinctes pour chaque type de substances mélangées.
		Activité 7 Expérience avec le changement de phase Demander à l'élève d'effectuer une expérience en chauffant des cubes de glace et en mesurant les variations de température avec le temps. Dessiner les différences entre les	Créer le graphique de changement de phase et découvrir les présences de plateau quand deux phases coexistent. Essayer de présenter les différences entre les espaces à chaque état.

		espaces des particules pour chaque phase sur le graphique.	
		Activité 8 Mettre du sel dans les chaussées glacées Pourquoi à votre avis, met-on du sel dans les chaussées glacées ?	L'élève peut à l'aide du modèle particulaire, qu'il devrait à ce stade avoir compris, essayer de déduire que pour empêcher la solidification ou le rapprochement des molécules d'eau sous sa forme solide, on peut mettre des obstacles comme le sel ou des graviers.
		Activité 9 La variation de la température d'ébullition selon la pression atmosphérique (Inspiré du cahier d'apprentissage des élèves au secondaire 3 - Système, Éditions CEC) Interpréter comment on pourrait bouillir l'eau à 80 degrés en haut d'une montagne.	L'élève découvrira qu'une basse pression atmosphérique résulte de la présence de moins de particules d'air. Ainsi les molécules d'eau pourraient s'échapper à une température plus basse.

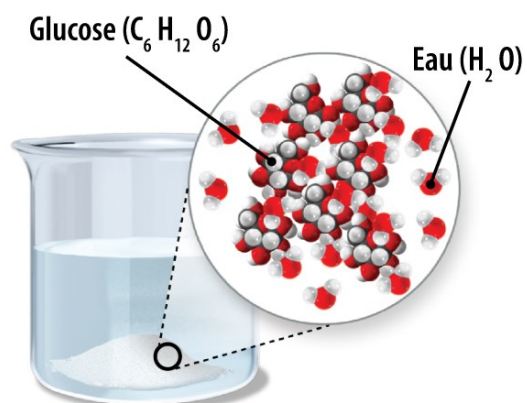
Donc, dans la première activité 4, on explique par une courte présentation magistrale (quinze minutes) la nature discontinue de la matière et on montre surtout des images qui illustrent les espaces entre les différentes substances mélangées dans une solution et on fait le parallèle avec les balles de golf qui contiennent des espaces. On revient ensuite sur l'exemple de l'éthanol et de l'eau et on explicite que la taille est à peu près le double de l'eau et donc les molécules de l'eau peuvent réussir de rentrer dans les espaces comme le sable dans les balles de golf et c'est pour

cette raison que le volume total de 50 ml d'eau et 50 ml d'alcool ne fait pas exactement 100 ml, mais un peu moins. On explique aussi les différents états de la matière avec les différents espaces entre les particules (Figure 8, Figure 9, Figure 10).



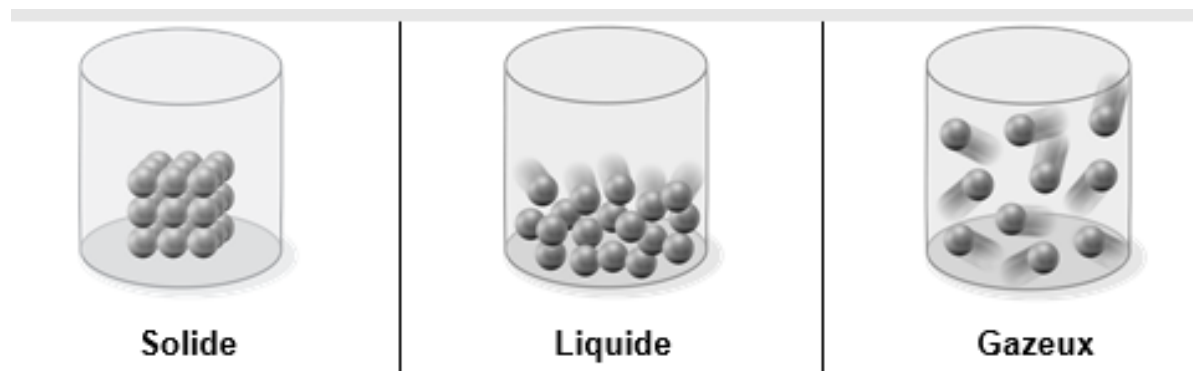
Note. Photos prises du livre de Potvin 2011, p. 366.

Figure 8. Photos du livre de Potvin (2011, p. 366) pour illustrer la discontinuité de la matière.



Note. Photos prises du manuel de l'élève, Système, Éditions CEC.

Figure 9. Photos du Manuel de l'élève, Système, Editions CEC, Suppléments de l'enseignant.



Note. Photos prises du manuel de l'élève, Système, Éditions CEC.

Figure 10. Photos du Manuel de l'élève, Système, Editions CEC, Suppléments de l'enseignant.

Ensuite, on enchaîne avec une série d'activités (5 à 9) où l'élève va pouvoir utiliser ce nouveau savoir pour calculer des concentrations en expliquant pourquoi il faut prendre garde de ne pas considérer seulement le volume du solvant. Dans d'autres activités, l'élève doit dessiner les particules et montrer les espaces ce qui lui permettra de s'exercer à percevoir la matière comme discontinue. Dans les deux dernières activités, l'élève va encore utiliser son nouveau savoir pour interpréter des observations de la vie courante. Ces activités sont susceptibles de donner à l'élève un pouvoir pour interpréter et résoudre différents problèmes.

La prochaine étape est de transférer ce savoir dans des situations plus complexes en visant l'automatisation et un changement conceptuel profitable.

3. AUTOMATISATION

Une fois le concept acquis, il faut les entraîner autant que possible à refuser les décisions qui mènent aux mauvaises analyses, pour plutôt choisir le nouveau savoir afin qu'éventuellement celui-ci devienne utilisé par l'élève (Potvin, 2011). Ainsi, dans cette étape on vise, l'automatisation du savoir par des activités de métacognition et d'intégration en utilisant des situations complexes.

3.1 Activités de métacognition

Potvin (2011) expliquait : « il est indispensable de distinguer les deux conceptions rivales et d'établir des comparaisons sur la base des fertilités relatives des deux modèles (Potvin, 2011 p. 219) ». Donc, on revient sur le questionnaire de départ ainsi que les expériences réalisées (activités 1, 2 et 3) pour valider ou réfuter les représentations des élèves. Il est important d'insister que le nouveau concept permette d'interpréter des situations diverses alors que la continuité de la matière n'explique pas les observations. Aussi, bien rédiger dans leur cahier de note que le volume parfois augmente et parfois diminue quand on mélange différentes substances. Dans l'activité 10, on exigera des élèves qu'ils produisent un texte fictif expliquant ce qu'un enseignant devrait répondre à un élève qui déclare que « des traces de colorants vont toujours exister, peu importe le nombre de fois de dilutions ». Potvin, 2011 dans son livre nous prévient que les opérations d'accélération et d'automatisation sont essentiellement personnelles et qu'à cette étape il vaut mieux demander des travaux individuels. Donc, l'activité 10 ne serait pas faite en équipe et le travail serait ramassé par l'enseignant pour apprécier les progrès et non pour condamner l'erreur. Finalement dans l'activité 11, on demande à l'élève de créer un réseau de concepts pour expliquer les variations de volumes avec la présence de différents solutés. L'enseignant peut ajouter des éléments pour créer

un réseau de concepts final qu'on affichera en classe et que l'élève peut utiliser pour se rappeler des points essentiels.

Tableau 10 Activités pédagogique pour développer la métacognition

Concept visé	Projet didactique de travail sur l'obstacle	Activités pédagogiques dans la phase de préparation	Activité intellectuelle supposée de l'élève
S'entraîner à reconnaître les pièges	Expliciter les difficultés, choisir de les refuser et d'utiliser un concept plus adéquat.	ACTIVITÉ 10 La rigueur scientifique (inspiré de Potvin, 2011) Rédiger un texte qui identifie le piège de la dilution et dire pourquoi on doit considérer plusieurs facteurs pour déterminer le volume final d'une solution. Ainsi, on s'entraîne à « penser contre le cerveau » pour éviter tel ou tel piège.	Développer la métacognition pour que l'élève s'entraîne à reconnaître les pièges, choisir de refuser ses conceptions et utiliser le concept scientifique.
Utiliser des méthodes efficaces pour répondre aux questions	Repérage de l'obstacle à travers des questions remue-méninges et des réseaux de concepts réalisés par les élèves sur le phénomène des	ACTIVITÉ 11 Le réseau de concepts Remue méninge avec des réseaux de concepts réalisés en équipe et affichés pour chaque groupe pour permettre à chaque équipe d'exprimer	Consigner une méthodologie qui justifie les comportements des volumes de solutions avec le concept acquis de la discontinuité de la matière.

	volumes et des calculs de concentration.	ses représentations sur les interactions entre soluté et solvant et les effets des tailles, formes et polarité.	
--	--	---	--

3.2 Activités d'intégration

L'élève peut maintenant transférer ce nouveau savoir dans des situations intégratives et complexes pour continuer à percevoir la fertilité du concept. Le but est de prévenir le retour aux conceptions avec des situations qui démontrent à l'élève que le nouveau savoir peut lui fournir des réponses et ainsi gagner en familiarité et en attrait. Les activités 12 et 13 permettent à l'élève d'identifier les facteurs impliqués dans la solubilité des solides et des gaz. Ici, on étudie le cas de l'augmentation de la solubilité avec la température quand il s'agit de soluté solide et de l'effet contraire quand il s'agit de gaz. En effet, dans le cas de ce dernier, les interactions entre soluté et solvant ne dépendent pas uniquement des tailles, formes et polarités des solutés, mais du degré d'agitation des molécules et de leur énergie cinétique élevée qui explique mieux la diminution de la solubilité. Ainsi, l'élève réalisera que plusieurs facteurs sont impliqués et restera vigilant de ne pas utiliser une seule interprétation, mais de bien choisir les variables qui interprètent mieux les observations.

Activité 12 : Bien mélanger, bien chauffer ou bien refroidir ? (Inspiré du cahier d'apprentissage des élèves au secondaire 3 - Système, Éditions CEC)

Problème posé :

Pour préparer ton lait au chocolat préféré, pourquoi faut-il à ton avis bien mélanger ? Si tu chauffes ton lait, est-ce que cela serait plus facile de mettre plus de chocolat ? Et ta boisson

gazeuse, comment interpréter le fait que si tu la reposes sur la table, tu l'agites ou tu la chauffes, les bulles disparaissent-elles ?

Activité 13 : Température de la planète (Inspiré du cahier d'apprentissage des élèves au secondaire 3 - Système, Éditions CEC)

Problème posé :

La mer est un important capteur naturel de dioxyde de carbone gazeux. Quelle est la conséquence du réchauffement de l'eau de mer sur la quantité du dioxyde de carbone dissous ? Explique ta réponse.

Activité 14 : La tête dans les nuages (Inspiré de Potvin, 2011)

Problème posé :

Pourquoi y a-t-il des nuages seulement en certains endroits du ciel et pas en d'autres ? Pourquoi les humains font-ils un nuage en expirant l'hiver ? Pourquoi les automobiles font-elles un nuage derrière elles l'hiver ? Pourquoi les avions de ligne laissent-ils une traînée blanche derrière eux ?

Dans l'activité 14, on montre plusieurs phénomènes de condensation que l'élève souvent confond avec de la pollution ou de la vapeur. L'idée d'avoir des gouttelettes d'eau en suspension va contre la logique des élèves et donc il faut bien préciser que ce qu'on voit est soit du liquide ou des cristaux de glaces en suspension. On varie donc les contextes et on laisse l'élève s'exercer plusieurs fois pour développer une compréhension générale du domaine d'applications. En variant les contextes et les applications, l'apprenant peut finir par automatiser le savoir et accomplir le changement conceptuel souhaité.

4. PRÉSENTATION DE CERTAINES APPLICATIONS VÉCUES AVEC LES ÉLÈVES

Cet essai est réalisé après un contrat d'enseignement pour les secondaires 2 et 5. Quelques activités ont été réalisées en classe et dans cette section on présentera certaines applications vécues avec les élèves. En général, on affirme que c'est important de rassurer et de créer un environnement

sans jugement pour permettre à l'élève d'expliciter ses difficultés. Ainsi, on vise à lui apprendre à être surtout attentif d'une façon systématique et à ne pas aller aux conclusions hâtives, mais à considérer bien la nature des variables qu'on choisit d'impliquer dans nos raisonnements. Aussi, être vigilant qu'une interprétation dans une situation ne l'ait pas nécessairement dans une autre. Bref, l'enseignant doit surtout apprendre aux élèves à apprendre et aspire à développer chez eux la rigueur scientifique qui met le doute dans les évidences surestimées.

Dans les activités conçues, c'était important d'avoir le tableau avec le projet didactique et l'activité intellectuelle supposée par l'élève; cela aide à devenir ce guide qui montre le chemin. En effet, l'enseignant pourra mieux mettre l'élève au cœur même de son apprentissage à l'aide de ces activités en mettant des obstacles et des difficultés et en le laissant graduellement s'en sortir sans le faire à sa place.

Par exemple, quand plusieurs de ces activités ont été réalisées, dans les copies des examens, j'ai pu voir le progrès de plusieurs dans l'interprétation du phénomène de la dissolution ou de la solubilité. Dans le premier phénomène, les interprétations étaient majoritairement justes et plusieurs ont utilisé les notions des espaces entre les molécules et de la température qui augmente l'agitation et ainsi les espaces. J'ai pu témoigner que les élèves ont assimilé l'idée de la discontinuité de la matière et de la présence du vide dans tout ce plein macroscopique et que ce savoir leur donnait du pouvoir pour interpréter et prédire des phénomènes.

Cependant, dans le phénomène de la solubilité des gaz (activité 13), plusieurs utilisaient la même interprétation que la solubilité des solides. Les élèves ont ignoré le facteur de l'énergie cinétique et ont affirmé qu'une augmentation de température augmente les espaces entre les

molécules du solvant et ainsi plus de gaz pourrait s'insérer. Il faut donc insister sur le choix des facteurs qui influencent les interactions entre les molécules à l'état microscopique. En effet, Willame, B. et Snauwaert, P. (2018), publient que 97% des élèves au niveau primaire affirment que le volume d'eau augmente avec l'ajout du sel alors que 37 et 41% des élèves de 15-16 ans affirment que le volume n'a pas changé. Ces derniers interprètent la présence d'espace entre les molécules du liquide qui sont remplies ou même que la distance entre les ions de sodium et de l'eau est plus petite que celle des liaisons hydrogène. En effet, les connaissances, qui sont justes, ont empêché ces élèves à donner les bonnes réponses alors qu'au niveau primaire c'était évident pour eux. Parfois, les évidences sont les bonnes réponses et il faut faire attention de montrer aux élèves les limites, les cas et le contexte du concept. Ainsi, les interprétations peuvent mener à des dénouements fertiles et dans d'autres cas non, l'enseignant doit multiplier les contextes avec les variables pour prendre les décisions appropriées (Potvin, 2011, p. 299).

CINQUIÈME CHAPITRE. RETOUR RÉFLEXIF SUR L'ESSAI

Dans ce chapitre, j'entreprends une réflexion critique sur mon développement professionnel. Cette réflexion me permettra d'explicitier et d'apprécier l'évolution de mon cheminement professionnel et de continuer à utiliser les méthodologies gagnantes mises en œuvre dans cet essai pour évoluer davantage dans mon rôle de guide pour les élèves, qui sont sous ma responsabilité.

1. BILAN PROFESSIONNEL

Avant d'entreprendre mon essai, mon engagement professionnel s'accroissait sur la communication efficace du contenu. Comme enseignante je me percevais comme l'experte et j'accordais une grande importance à l'organisation de la matière en présentant le plus de connaissances possible. En effet, durant ma phase de planification, j'accordais tout mon temps à la préparation d'informations cohérentes présentées sur des supports visuels et mon enseignement était majoritairement magistral.

Ma difficulté était de préparer des situations d'apprentissage où l'élève est au centre de son apprentissage en mode actif. J'appréhendais des activités où je devais établir des modalités organisationnelles dans la classe en termes d'espaces, de matériel à préparer, de planification du temps, de modalité de travail en équipe ou individuel et des ressources à rendre disponible. Je me souciais uniquement de rendre le contenu clair et cohérent avec des informations qui peuvent même dépasser les connaissances établies dans un cycle et j'évitais les activités d'interactions et d'autonomie. Ces difficultés, je les attribue aux représentations inopérantes que j'avais de

l'enseignement et des enseignants durant mes années comme élève au secondaire, vu que j'avais appris avec le courant behaviouriste. En effet, Prud'homme et al. (2011) expliquent que pour les enseignants ayant une perspective de transmission ou qui perçoivent les contenus comme la finalité de l'enseignement, il est très difficile de rendre l'élève actif en classe. En outre, Pratt (2005), précise que « s'il s'agit de la seule perspective qu'un enseignant ait déjà rencontrée, il est fort probable qu'il soit pratiquement très difficile d'en considérer une autre comme une façon légitime d'enseigner ».

2. CHEMINEMENT ET DÉVELOPPMENT

Mon point tournant était mes cours en didactiques. Durant ces cours j'ai appris que les concepts scientifiques abstraits ne s'apprennent pas en transmettant des informations aussi claires et cohérentes qu'ils soient. En effet, l'enseignant doit dépasser l'isolement des savoirs pour aider les élèves à accéder à la notion de la discipline et à celle de la culture (Develay, 2000). Donc, ces concepts scientifiques peuvent être des savoirs de domination ou d'émancipations dépendamment de la façon dont les enseignants les font découvrir aux élèves (Develay, 2000). Il fallait donc se rendre compte de la nécessité de changer ma posture et ma perspective pour ne plus percevoir les contenus comme la finalité, mais plutôt comme un moyen pour amener les élèves à développer leur capacité de conceptualisation et à la mettre en œuvre. Ensuite, il fallait trouver une méthodologie pour m'aider à mettre les élèves en rôle actif et à leur permettre de trouver du sens dans ce que j'enseigne.

Grâce à cet essai, j'ai pu établir des objectifs mesurables et atteignables surtout dans les coulisses ou dans la phase de planification qui m'a grandement aidée, durant l'action, à mettre

l'élève au centre de son apprentissage et à lui permettre d'être actif. En effet, en utilisant les deux paramètres clés de la prise en compte des conceptions ainsi que de la traduction des savoirs, j'ai pu trouver des activités qui donnent un sens et une utilité à l'élève. Avec l'établissement de cet arrière-plan sur les notions et les obstacles, ma question est devenue « comment » je peux les aider à comprendre le monde, les autres et à se comprendre, et non comment je vais les aider à avoir de bonnes notes. Expliciter le changement intellectuel souhaité par l'élève à chaque activité, m'a permis de me décentrer du contenu et de pouvoir, pour une première fois, mettre mes efforts pour que l'élève découvre par lui-même la fertilité du concept. Mon objectif ainsi que ma conviction s'accroissent présentement sur le changement conceptuel profitable dans le but de former un profil d'élève utile et indispensable pour la société. Les activités conçues visent à donner une vie ou un sens identitaire des fondements et des fondations de la discipline tout en développant la métacognition ou le retour réflexif avec des situations complexes (Develay, 2000).

Ce changement de perspective et de pratique et cette méthodologie adoptée avant l'action m'ont permis de mettre l'élève au cœur de l'action. Cette façon d'être et de faire m'ont procuré de la satisfaction comme enseignante, car j'ai pu témoigner un progrès dans le développement intellectuel de l'élève et donc de sa formation en sciences. Cette satisfaction a entraîné en quelque sorte un effet spiral, car plus que l'élève développe ses compétences, plus je suis motivée à prendre des risques et mettre des efforts pour lui faire découvrir l'utilité et le sens du savoir. Ainsi pour moi, adopter cette méthodologie de préparation en se basant sur la trame et en prenant en considération les obstacles identifiés n'est ni une tâche qui s'ajoute à mon enseignement ni une méthode que j'applique, mais c'est bien une vision de vie et une nécessité et une responsabilité envers les élèves qui ont besoin de construire leur identité et de s'orienter dans la vie. En effet,

dans un document publié par le Conseil supérieur de l'éducation en 2009, on met en évidence l'impressionnante trajectoire qu'un adolescent parcourt entre 12 et 17 ans en soulignant les changements physiques, psychologiques et cognitifs qu'il subit. Le rapport poursuit que ces adolescents ont des besoins pédagogiques, personnels et sociaux et que les situations d'apprentissage choisies par les enseignants ainsi que les rapports qu'ils installent durant les travaux sont primordiales pour permettre aux élèves d'exercer, d'explorer et d'expérimenter une citoyenneté démocratique dans la classe. Le rapport urge les enseignants « d'avoir à cœur de comprendre cette génération complexe et fragmentée et assumer la responsabilité au lieu de se décourager à l'ampleur de la tâche (CSE, 2009) ». Donc, pour contribuer à la formation intellectuelle et au développement intégral de la personnalité de chaque élève (LIP article 22.2) je m'engage à adhérer à cette vision de changement conceptuel qui permettra à l'élève d'utiliser ces savoirs pour interpréter, prédire et comprendre le monde qui l'entoure.

Si l'on récapitule, on peut retenir qu'avant cet essai, ma pratique s'appuyait presque exclusivement sur les contenus et les cours magistraux avec une surcharge d'informations. Maintenant, grâce à la réalisation de cette démarche de recherche et l'utilisation des deux outils didactiques clés, je commence dès la phase de planification de traduire les savoirs avec leur sens et application et d'identifier les difficultés des élèves en lien avec les notions. Cette préparation me permet de choisir clairement des activités qui les guident graduellement vers l'appropriation et l'utilisation de ces savoirs. Il a été nécessaire de prendre conscience de mes défis comme enseignante et d'adopter par la suite une posture qui vise de mettre l'élève au cœur de son apprentissage. Il me reste encore du chemin à faire, car ces outils didactiques nécessitent beaucoup de préparations et parfois les activités ne réussissent pas nécessairement, mais je sais maintenant

le chemin dans lequel je souhaite les amener et cela augmente grandement ma confiance en moi ainsi que ma volonté de continuer à essayer.

CONCLUSION

Le problème de l'appropriation des concepts scientifiques est que d'une part, on a ces concepts qui répondent à des problématiques construites historiquement et qui ne se limitent pas à la sphère logique, mais ils ont des invariants ou des lois et des liens abstraits dont on ne peut pas les approcher par les perceptions. D'autre part, on a les conceptions initiales des élèves formées souvent par les interprétations rapides à partir de ce qui est disponible immédiatement par les sens, les observations et les perceptions. Si ces conceptions inopérantes ne sont pas traitées avec un parcours d'apprentissage approprié, l'élève s'enfermera dans ses représentations du monde qu'il a construites hâtivement et qui s'avèrent parfois insuffisantes pour fonctionner comme citoyen, comme travailleur et consommateur.

Afin de développer un changement conceptuel durable, c'est à l'enseignant de concevoir des activités pour provoquer une insatisfaction avec les conceptions et ensuite permettre à l'élève de percevoir le concept scientifique proposé comme intelligible, plausible et fécond. La tâche n'est pas facile surtout pour les enseignants novices et une réflexion est de mise pour mieux planifier. Les deux paramètres choisis pour guider la conception des activités d'apprentissage, en lien avec les concepts de l'organisation de la matière, étaient l'interprétation du savoir condensé à l'aide de la trame conceptuelle et l'identification des obstacles et des conceptions les plus susceptibles à exister dans l'esprit des élèves. À la lumière de ces deux paramètres, les activités étaient conçues avec la prise en compte du lien affectif que l'élève a avec ses conceptions et la vigilance qu'on est en train de se défricher un chemin dans une forêt et un sentier dense qui n'a jamais été franchi et que l'élève va toujours préférer revenir à son sentier défricher, facile d'accès qu'il peut et veut

emprunter par habitude (Potvin, 2011). On n'a donc pas misé sur la surprise ou la guerre contre ces routes lisses et connues, mais surtout on a essayé de les mettre en relief pour que l'élève les distingue facilement et ensuite lui faire découvrir et l'entraîner à utiliser le nouveau savoir et à percevoir sa fertilité pour éventuellement l'automatiser. Les résultats préliminaires avec des élèves de secondaire 2 et 5 montrent un progrès dans l'assimilation du concept de la discontinuité de la matière, mais préviennent que l'enseignant doit insister sur les cas particuliers pour guider mieux l'élève à choisir les variables appropriées dans ces interprétations.

Cette forme de recherche-développement m'a permis de développer mes compétences de réflexion sur l'action grâce aux outils didactiques opérationnalisés. Les activités devraient servir à quiconque souhaite les utiliser pour produire un changement conceptuel lié aux concepts de l'organisation de la matière et profitable pour ses élèves.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Article 22 (2) de la Loi sur l'instruction publique.

Astolfi, J-P. et Develay, M. (2002). La transposition didactique. Dans J-P. Astolfi et M. Develay (dir), *La didactique des sciences* (6^e éd.). (p. 41-47) Paris, France : Presses Universitaires de France.

Astolfi, J-P. (2008). Concept, Conceptualisation. Dans J-P. Astolfi, É., Darot, Y. Ginsburger-Vogel, J. Toussaint, J. (dir), *Mots-clés de la didactique des sciences : Repère, définitions, bibliographies*. (p. 23-26). Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur.
doi:10.3917/dbu.astol.2008.01.

Astolfi, J-P. (2010). Des représentations à transformer Dans J-P. Astolfi (dir), *L'école pour apprendre* (9^e éd.). (p. 78-91). Issy-les-Moulineaux, France : ESF éditeur.

Astolfi, J-P. (2014a). Quel statut pour l'erreur à l'école ? Dans J-P. Astolfi (dir), *L'erreur, un outil pour enseigner* (11^e éd.). (p. 9-27). Issy-les-Moulineaux, France : ESF éditeur.

Astolfi, J-P. (2014b). Une typologie des erreurs des élèves. Dans J-P. Astolfi (dir), *L'erreur, un outil pour enseigner* (11^e éd.). (p. 57-76). Issy-les-Moulineaux, France : ESF éditeur.

Astolfi, J.-P. & Peterválvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales, in *Modèles pédagogiques 1, Aster n° 16*. Paris : INRP

Bachelard, G. (1938). La formation de l'esprit scientifique. Paris : Vrin.

- Babai, R., Younis, N. et Stavy, R. (2014). Involvement of inhibitory control mechanisms in overcoming intuitive interferences. *Neuroeducation*, 3(1), 1-9.
<https://doi.org/10.24046/neuroed.20140301.1>
- Brault Foisy, L.-M., Potvin, P., Riopel, M. et Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics? *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Bousadra, F. (2020). DID894 : Didactique des sciences et technologies II. [*Notes de synthèse de la professeure, intitulée : Que retenir ?*]. Repéré dans l'environnement Moodle : <http://www.usherbrooke.ca/moodle>.
- Brousseau, G (1986). Obstacles épistémologiques, conflits sociocognitifs et ingénierie didactique, p.277-285. Montréal, Canada. CIRADE les éditions Agence d'Arc Inc.
- Charland, P, Fournier, F, Potvin, P et Riopel, M. (2010). Apprendre et enseigner la technologie. Québec, Canada : Éditions MultiMondes,
- Cina, A. (2011). Apprendre en Sciences. Le modèle allostérique ; facteur de changement conceptuel ? (*Mémoire de fin d'études*). Haute école pédagogique du valais, France.
- Conseil supérieur de l'éducation (2009). Une école secondaire qui s'adapte aux besoins des jeunes pour soutenir leur réussite. Avis à la ministre de l'Éducation, du Loisir et du Sport.

- Québec : Gouvernement du Québec. Document téléaccessible à l'adresse
 <<http://www.cse.gouv.qc.ca/fichiers/documents/publications/Avis/50-0464.pdf>
- de Berg, K. (2012). A study of first-year chemistry student' understanding of solution concentration at the tertiary level. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(1), 8-16. <https://doi.org/10.1039/c1rp90056k>
- Davis, F. et A. Steiger. (1996). Gender and Persistence in the Sciences. (Rapport), Québec: Ministère de l'Enseignement Supérieur, Gouvernement du Québec.
- De Corte, E. (2010). Les conceptions de l'apprentissage au fil du temps. Dans H. Dumont, D. Istance et F. Benavides (dir.), *Comment apprend-on ? La recherche au service de la pratique*. (p. 39-72). Paris, France : Éditions OCDE.
- Demounem, R., Astolfi, J-P. (1996). Construction de concepts et trames conceptuelles. Dans R. Demounem et J-P. Astolfi (dir), *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*. (p. 55-75). Paris, France : Nathan.
- Develay, M. (2000). À propos des savoirs scolaires. *VEI enjeux*, n° 123, 28-37.
- DiSessa, A.A. (2006). A history of conceptual change research. In K. Sawyer (éd.), *Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Durand, M.-J. et Chouinard, R. (2012). La planification spécifique : la situation d'apprentissage et d'évaluation. Dans M.-J. Durand et R. Chouinard (dir.), *L'évaluation des apprentissages :*

- de la planification de la démarche à la communication des résultats (p. 143-153; p.160-176). Montréal, Canada : Éditions Marcel Didier.
- Giordan, A., de Vecchi, G. (1989). Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Paris : Delachaux et Niestle.
- Giordan, A., de Vecchi, G. (2002). L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche » ? Paris : Delagrave Éditions
- Goodrum, D. et Rennie, L. (2007). Australian School Science Education National Action Plan 2008-2012, Volume 1 *The National Action Plan*. Canberra: Commonwealth of Australia.
- Gouvernement du Québec (2007). Enseignement secondaire. 2e cycle (Ensemble des compétences disciplinaires du deuxième cycle du secondaire). *Programme de formation de l'école québécoise*. Québec : MELS.
- Gouvernement du Québec. (2010). Enseignement secondaire, deuxième cycle. *Programme de formation de l'école québécoise*. Québec : MELS.
- Gouvernement du Québec. (2011). Progression des apprentissages au secondaire Science et technologie 1 cycle Applications technologiques et scientifiques Science et environnement. *Programme de formation de l'école québécoise*. Québec : MELS.
- Harlen, W., Bell, D., Devés, R., Dyasi, H., Fernandez de la Garza, G, Léna, P., Millar, R., Reiss, M., Rowell, P., Yu, W. (dir.) (2015). Idées de sciences, idées sur la science. Paris, France : Edition Le Pommier.

- Houdé, O. (2004). La psychologie de l'enfant (6e éd.). Paris, France : Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (2016). Apprendre à résister aux automatismes. *Cahiers pédagogiques*, (527), 20-22.
- Martinet, M. A., Raymond, D., et Gauthier, C. (2001). La formation à l'enseignement. Les orientations. *Les compétences professionnelles*. Québec : MELS.
- Masson, S. (2012). Etude des mécanismes cérébraux liés à l'expertise scientifique en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Thèse de doctorat inédite. Université du Québec à Montréal, Canada.
<http://www.archipel.uqam.ca/4876/1/D2287.pdf>
- Mondher, A. (s.d.). Conceptions et représentations en didactique des sciences. *Didactique des SVT*.
- Morin, M. (2016). L'importance de prendre en compte les conceptions initiales pour construire un concept scientifique. (*Mémoire de maîtrise*). Université d'Orléans et de Tours, ESPE Centre Val de Loire, France.
- Nussbaum, J., et Novick, S. (1982). Alternative Frameworks, Conceptual Conflict and Accommodation : Toward a Principled Teaching Strategy. *Instructional science*, 11 , 183-200.
- Paillé, P. (2007). La méthodologie de recherche dans un contexte de recherche professionnalisante : douze devis méthodologiques exemplaires. *Recherches Qualitatives*, 27(2), p. 133-151.

-
- Peterfalvi, B. (1997). Les obstacles et leur prise en compte didactique. *Aster*, 24, 3-11. DOI : 10.4267/2042/8666
- Potvin, P. (2011) Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie. Québec, Canada : Éditions MultiMondes, Plé, E. (1997). Transformation de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. *Aster*, 24, 203. DOI : 10.4267/2042/8674
- Potvin, P., Riopel, M. et Masson, S. (2007). Regards multiples sur l'enseignement des sciences. Québec, Canada : MultiMondes. <http://multim.com/titre/?ID=212>
- Pronovost, M, Cormier, C, Potvin, P, Riopel, M. (2017) Intérêt et motivation des jeunes pour les sciences. *Conférence présentée lors du colloque « Journée de la recherche sur la motivation au collégial »* Acfas, Montréal, 10 mai 2017.
- Prud'homme, L., Dolbec, A. et Guay, H. (2011). Le sens construit autour de la différenciation pédagogique dans le cadre d'une recherche action-formation. *Éducation et francophonie*, vol. 39, n° 2, 2011, p. 165-188.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., Lahanier-Reuter, D. (2013). Pratiques sociales de référence. Dans Y. Reuter, C. Cohen-Azria, B. Daunay, I Delcambre, D. Lahanier-Reuter (dir). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. (p. 181-184) Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur. doi:10.3917/dbu.reute.2013.01.

- Rossi, S., Lubin, A., Lanoë, C. et Pineau, A. (2012). Une pédagogie du contrôle cognitif pour l'amélioration de l'attention à la consigne chez l'enfant de 4-5 ans. *Neuroeducation*, 1(1), 29-54. <https://doi.org/10.24046/neuroed.20120101.29>
- Sauvageot-Skibine, M. (1994). Les trames conceptuelles, outils de formation en didactique de la biologie. *Didaskalia*, 5, 91-104.
- Sauvageot-Skibine, M. (1997). Ce que le professeur prévoit... ce qui se passe réellement. *Aster*, 25, 93-112.
- Tardif, J. (1995). Les influences de la psychologie cognitive sur les pratiques d'enseignement et d'évaluation. *Revue québécoise de psychologie*, 16 (2), 175-207.
- Tümay, H. (2016). Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: Emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 229-245. <https://doi.org/10.1039/c6rp00008h>
- Van der Maren, J.-M. (1996). Les enjeux et les discours de la recherche. Dans Van der Maren, J.-M. (dir.), *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2e édition) (p. 58-79). Montréal/Bruxelles : Presses de l'Université de Montréal et de Boeck.
- Vermersh, P. (2000). L'entretien d'explicitation . Paris : ESF éditeur.
- Willame, B. et Snauwaert, P. (2018). Entraînement au contrôle inhibiteur et apprentissage en chimie dans le secondaire supérieur : Favoriser un changement de prévalence conceptuelle. *Neuroéducation*, 5(2), 73-92. DOI: <https://doi.org/10.24046/neuroed.20180502.73>

ANNEXE A. QUESTIONNAIRE DE PRÉTEST

1. Dans les laboratoires, les scientifiques peuvent-ils couper un atome avec une lame extrêmement fine?
2. L'atome relève-t-il du vivant? Les cellules contiennent-elles des atomes?
3. Réécris les mots suivants en les ordonnant du plus petit au plus grand : abeille, tête d'épingle, atome, molécule, acarien, filet de toile d'araignée, cellule de globule rouge, une bactérie et un virus.
4. Réécris les mots suivants en les ordonnant du plus petit au plus grand : cellule, tête d'épingle, atome, molécule, électron et noyau atomique.
5. Les alchimistes cherchaient à transformer des métaux comme le plomb en des métaux nobles comme l'or ou l'argent et ainsi réaliser le "grand œuvre". En utilisant les connaissances de chimie actuelles, peut-on passer facilement d'un élément à l'autre? Si oui, comment? Sinon, pourquoi?
6. Peut-on dire que chacun des atomes d'un morceau de cuivre est à l'état solide et que chacun des atomes de l'eau est à l'état liquide?
7. L'aluminium solide devient gazeux à 2470 degrés C, ses atomes disparaissent-ils alors?
8. Représente le schéma d'un atome en indiquant ces constituants

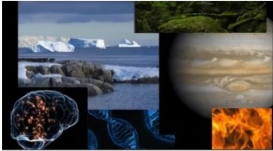
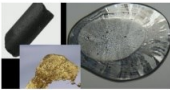
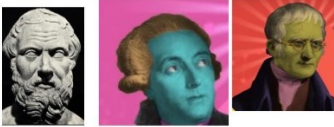


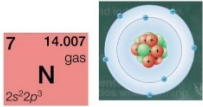
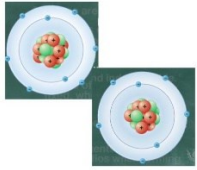

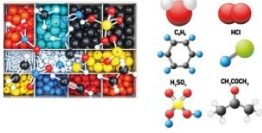
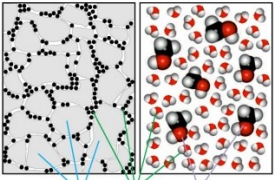

9. Si on coupe un fil de fer en deux et on recommence l'opération plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'un bout de fil de fer si court qu'on ne le reconnaît plus comme du fer. À ton avis, est-ce possible que ce petit bout de fil devienne autre chose? Justifie ta réponse.
10. Dans un bécher rempli d'eau, on ajoute cinq gouttes de colorant. Après avoir agité et bien mélangé le colorant à l'eau, on vide le bécher de la moitié de son contenu et on remet de l'eau jusqu'au niveau initial, diluant par le fait même la concentration en colorant de moitié. Si l'on répète cette opération plusieurs fois, à ton avis, est-ce qu'il arrivera un moment où le colorant aura complètement disparu du bécher?
11. Dans un laboratoire, on mélange 50 ml d'eau et 50 ml de sable, est-ce que vous pouvez prédire la masse totale du mélange?
12. Dans le même mélange de 50 ml d'eau et 50 ml de sable est ce que vous pouvez prédire le volume total du mélange?
13. Un étudiant a fait une expérience. Il a ajouté 50 ml d'eau et 50 ml d'alcool et il n'a pas obtenu exactement 100 ml. Le volume est toujours plus petit que 100 ml. Est-ce que tu peux lui expliquer pourquoi?
14. Si un atome avait la taille du stade olympique de Montréal, le noyau aurait la dimension : d'une poussière, de la pelouse du stade, du stade olympique, de la ville de Montréal.

-
15. Lors d'une expérience, on place de l'eau distillée dans un bécher et de l'eau du robinet dans un autre bécher. L'eau distillée ne conduit pas le courant électrique alors que l'eau du robinet la conduit. Pourquoi?

ANNEXE B. TRAME CONCEPTUELLE AVEC LES CINQ IDÉES PRINCIPALES



ANNEXE C. EXTRAITS DE LA PRÉSENTATION MAGISTRALE POUR LES SECONDAIRES 2

<h3>L'organisation de la matière</h3> <p>Quoi? Pourquoi? Comment? p. 4-9</p> <ul style="list-style-type: none"> • Décire le modèle atomique de Dalton • Définir l'atome comme étant l'unité de base de la molécule. 	<h3>Matière diverses</h3>  <ul style="list-style-type: none"> • Tout ceci construit des mêmes briques élémentaires! 	<h3>La matière à l'échelle microscopique</h3> <p>Si on décompose ce carbone en morceau de plus en plus petit</p>  <p>Atome: Plus petite partie possible de la matière. C'est l'unité de base de la matière.</p> <p>La plus petite unité d'un élément qu'on peut avoir c'est l'atome.</p>
<h3>Histoire de l'atome</h3>  <p>Democrite -460 Lavoisier - 1743-1794 Dalton - 1766-1844</p>	<h3>Les critères d'un bon modèle</h3> <p>Modèle : Représentation physique concrète d'une réalité inaccessible par les sens</p> <ul style="list-style-type: none"> Simple, une réalité complexe Peut-être, modifiable et amélioré Explique des phénomènes observés, prédire d'autres 	<h3>Le modèle de Dalton</h3> <p>L'atome est une sphère simple et indivisible, semblable à une boule de billard</p>  <p>John Dalton 1808</p> <p>Il pense alors que ces atomes sont "solides, massives, durs, microscopiques et mobiles".</p>  <p>1. Toute la matière est constituée d'atomes. Chaque atome est microscopique et indivisible.</p>
<h3>Modèle de Dalton</h3>  <p>2. Tous les atomes d'un même élément sont identiques. Ils ont la même masse, la même taille et les mêmes propriétés.</p>	<h3>Modèle de Dalton</h3>  <p>3. Les atomes d'éléments différents sont différents. Ils ont une masse, des tailles et des propriétés différentes</p>	<h3>Modèle de Dalton</h3>  <p>4. Des atomes peuvent se combiner pour former une nouvelle substance. La molécule ainsi créée aura des propriétés différentes des atomes qui la constituent.</p>
<h3>Modèle de Dalton (modèle discontinu de la matière)</h3>  <ul style="list-style-type: none"> - Il existe plusieurs types d'atomes. À chaque espèce chimique correspond un type d'atome. Les atomes peuvent se lier entre eux pour former des composés. - La matière est discontinue. 	 <p>Sable Eau Alcool</p>	

Type de substance	substances pures			mélanges	
	élément	élément polyatomique	composé	Mélange homogène (solutions)	Mélange hétérogène
Unité de base	Atome	Molécule formée d'atomes identiques	Molécule formée d'atomes différents	Aucune	Aucune
Exemple	Or, Plomb, Nickel, Cobalt, Titane, Platine	dioxygène, dichlore	H_2O , CH_4 , CH_3OH	eau sucrée	eau et mercure

La taille d'un atome?

10⁶ atomes de carbone

Un cheveu humain (0,051 mm)

	Solide	Liquide	Gazeux
Caractéristiques de matière pure	Définit	Définit	Indéfinit
Caractéristiques de la forme physique	Définit	Indéfinit	Indéfinit
Température et état des molécules	Température basse. Car les particules s'agitent très peu.	Température moyenne. Car les particules s'agitent un peu.	Température élevée. Car les particules s'agitent beaucoup.
Distance entre les particules	Très petite, presque nulle.	Très petite, mais un peu plus grande qu'à l'état solide.	Très grande.
Forces d'attraction	Très fortes, donc les particules sont très proches les unes des autres.	Suffisantes pour maintenir les particules proches les unes des autres, mais pas assez fortes pour maintenir la cohésion.	Peu importantes. Elles ne suffisent pas à maintenir les particules proches les unes des autres.

Substance pure - l'élément - unité de base l'atome

Graphite

Plomb

Or

Ce morceau de graphite est constitué uniquement de l'élément carbone.

L'élément chimique est une substance pure formée d'une seule sorte d'atome.

Une substance formée d'une seule sorte d'atome.